



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO
CON INTENSIFICACIÓN EN DISEÑO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

SUSCEPTOMETRO AC

Carlos Alava Alava

Ricardo Ortega Hertogs

Tudela, 20 de febrero de 2013

Proyecto Fin de Carrera que, para optar al título de Ingeniero Técnico Industrial,
presenta en la Universidad Pública de Navarra, campus de Tudela, en febrero de 2013.

A mi familia por su apoyo para seguir adelante. Y por estar ahí en los buenos momentos y en los no tan buenos.

Agradecimientos

Deseo agradecer a Ricardo Ortega Hertogs por ser mi tutor en este proyecto. Por guiarme para buscar las mejores soluciones. Por su apoyo y cercanía.

Índice general

1. Introducción	8
2. Antecedentes	10
2.1. Generalidades de magnetismo de la materia	10
2.1.1. Dependencia térmica de la imanación y de la susceptibilidad	10
2.1.2. Ciclos de histéresis y permeabilidad	14
2.1.3. Métodos experimentales	15
2.1.3.1. Fuerza sobre el espécimen magnético	15
2.1.3.2. Fuerza electromotriz inducida	16
2.1.4. Sistemas de unidades en magnetismo	19
2.2. Diseño de un susceptómetro AC	19
2.2.1. Esquema global de funcionamiento	23
2.2.2. Sistema productor de campo magnético	23
2.2.3. Sistema detector	23
2.2.3.1. Bobinas secundarias	23
2.2.3.2. Amplificador	25
2.2.4. Sistema de control	25
3. Descripción del Proyecto	26
3.1. Sistema superior	27
3.1.1. Conjuntos	30
3.1.1.1. Sujeción del micrómetro	30
3.1.1.2. Movimiento del micrómetro	31
3.1.1.3. Sujeción del cilindro neumático	32
3.1.1.4. Conjunto central	33
3.1.1.5. Conjunto inferior	34
3.1.1.6. Tapa	35
3.1.1.7. Anillo de sujeción	35
3.1.1.8. Soporte para el dewar	36
3.1.2. Piezas	37
3.1.2.1. Micrómetro	37
3.1.2.2. Soporte del micrómetro	37

3.1.2.3.	Acople para el casquillo	38
3.1.2.4.	Casquillo del micrómetro	38
3.1.2.5.	Cilindro neumático	39
3.1.2.6.	Casquillo del vástago	39
3.1.2.7.	Soporte cilindro P1	40
3.1.2.8.	Soporte del cilindro P2	41
3.1.2.9.	Sujeción cilindro P2	41
3.1.2.10.	Sujeciones pieza-cilindro	42
3.1.2.11.	Placa de sujeción	42
3.1.2.12.	Unión base-soporte micrómetro	43
3.1.2.13.	Soporte en cola de milano (macho)	43
3.1.2.14.	Nervio	44
3.1.2.15.	Varilla	44
3.1.2.16.	Soporte en cola de milano (hembra)	45
3.1.2.17.	Pletina para la cola de milano	45
3.1.2.18.	Posicionador	46
3.1.2.19.	Separadores con rosca interior y exterior, trasero y delantero	46
3.2.	Sistema inferior	47
3.2.1.	Esquema de los carretes	47
3.2.1.1.	Carretes secundarios	48
3.2.1.2.	Separador	48
3.2.1.3.	Separadores de los carretes primarios	49
3.3.	Sistema neumático	50
3.4.	Sujeción	51
3.5.	Vibraciones	51
3.6.	Conjunto completo	52
3.6.1.	Conjunto completo con nomenclatura	53
3.6.2.	Conjunto completo con numeración de planos	54
3.7.	Presupuesto	55
4.	Anexo I (Planos)	58
4.1.	Soporte micrómetro derecho	59
4.2.	Soporte micrómetro izquierdo	60
4.3.	Casquillo cilindro neumático	61
4.4.	Nervio	62
4.5.	Casquillo micrómetro	63
4.6.	Varilla guía	64
4.7.	Tope posicionador	65
4.8.	Acople casquillo	66
4.9.	Soporte cilindro P2	67
4.10.	Soporte cilindro P1	68

4.11. Sujeción cilindro P2	69
4.12. Separador trasero	70
4.13. Separador delantero	71
4.14. Sujeción cilindro-micrómetro	72
4.15. Sujeción pieza cilindro	73
4.16. Pletina cola de milano	74
4.17. Placa de sujeción	75
4.18. Anillo de sujeción	76
4.19. Sujeción dewar	77
4.20. Soporte cola de milano hembra	78
4.21. Tapa	79
4.22. Soporte cola de milano macho	80
4.23. Conjunto micrómetro	81
4.24. Conjunto micrómetro explosión	82
4.25. Conjunto sujeción cilindro	83
4.26. Conjunto sujeción cilindro explosión	84
4.27. Conjunto central	85
4.28. Conjunto central explosión	86
4.29. Conjunto mov. micrómetro	87
4.30. Conjunto inferior	88
4.31. Conjunto inferior explosión	89
4.32. Conjunto	90
4.33. Conjunto explosión	91
5. Anexo II (Propiedades físicas)	93
5.1. Volúmenes/ centros de gravedad Nervio	94
5.2. Volúmenes/ centros de gravedad Parte 1 pieza 2	95
5.3. Volúmenes/ centros de gravedad Parte 2 pieza 2	96
5.4. Volúmenes/ centros de gravedad Pieza 1 soporte modificado	97
5.5. Volúmenes/ centros de gravedad Pieza 2 soporte modificado	98
5.6. Volúmenes/ centros de gravedad Pieza 3 soporte modificado	99
5.7. Volúmenes/ centros de gravedad Soporte cilindro delantero	100
5.8. Volúmenes/ centros de gravedad Soporte cola de milano	101
5.9. Volúmenes/ centros de gravedad Tapa dewar	102
6. Anexo III(Catálogos)	104
6.1. Neumática	105
6.2. Micrómetro	116
6.3. Cierres de palanca	117
6.4. Silentblocks	118
6.5. Fuente de alimentación KEPCO	119

6.6. Amplificador Lock-in	120
7. Anexo IV(Presupuestos y facturas)	122

Capítulo 1

Introducción

El presente proyecto se enmarca dentro de una serie que persigue crear la infraestructura necesaria para realizar labores de investigación en el ámbito de la física, y en particular del magnetismo, en el campus de Tudela de la UPNa.

Un susceptómetro-AC es un instrumento que permite determinar la susceptibilidad magnética de un espécimen: el cociente entre la imanación adquirida y el campo magnético excitador.

En esencia, el espécimen está sometido a un campo magnético alterno, típicamente en un rango de frecuencias de 1 a 10^4 Hz y en amplitudes de campo magnético en el rango de $1\mu\text{T}$ a 10 mT. También puede estar sometida simultáneamente a un campo magnético estático, en la misma dirección que el campo alterno y/o en la perpendicular. El espécimen está generalmente inmerso en atmósfera controlada, en la que se permite variar la temperatura desde valores criogénicos hasta ambiente o temperaturas superiores. La detección de la susceptibilidad magnética se realiza mediante un sistema compensado de carretes detectores, en los que se induce una fuerza electromotriz (*fem*) proporcional al momento magnético adquirido por la muestra, como consecuencia de la variación temporal del mismo en presencia del campo magnético alterno excitador.

El presente proyecto persigue el diseño mecánico y electromagnético y la fabricación del susceptómetro, en el rango de temperaturas desde 77 K a ambiente, haciendo uso de un vaso *dewar* como recipiente criogénico.

El diseño mecánico debe permitir el posicionamiento de la muestra a estudiar en el sistema de carretes detectores, capaz de realizar un ajuste fino de la posición con una resolución de 100 micras o mejor. Debe permitir la manipulación y el intercambio cómodo y rápido de la muestra. La muestra debe además moverse entre dos posiciones mediante un sistema electroneumático: una, en el centro de uno de los carretes detectores; otra, en la posición alejada de fondo (*background*). El propósito es medir la señal sin muestra debida a la descompensación del sistema de carretes detectores, que tiene lugar debido principalmente al gradiente térmico en el interior del vaso criogénico, así como a la imperfección en la fabricación del sistema detector, durante una rampa térmica. El sistema productor de campo magnético y detector de la tensión eléctrica es un conjunto de bobinas primarias

y carretes secundarios coaxiales, que deben permanecer como un todo unidos a la tapa superior del vaso criogénico, en la cual debe realizarse el conexionado de cables, tanto de primarios y secundarios como de sensores térmicos y de alimentación de un calefactor, para el control de la rampa térmica. La tapa debe poder unirse firmemente al vaso criogénico o retirarse, permitiendo manipular el interior del vaso. Debe permitir la entrada de líquido criogénico y la salida de vapores del mismo.

El diseño electromagnético debe permitir la generación de los campos magnéticos alterno y continuo (en la misma dirección, vertical), de mínimo gradiente en puntos del secundario, mediante bobinas primarias de hilo de cobre, y la detección de la *fem* inducida en un sistema de carretes detectores, también de hilo de cobre, coaxiales entre sí. Se hará uso de una fuente bipolar KEPCO BOP 36-12ML (36V, 12A) para la producción del campo magnético. Se dispone de un amplificador *lock-in* SRS-830 para la detección de la tensión eléctrica, cuyas especificaciones se facilitarán, al objeto de desarrollar los programas de optimización de las geometrías, mediante cálculo numérico en *Scilab*.

Capítulo 2

Antecedentes

2.1. Generalidades de magnetismo de la materia

Todas las sustancias exhiben algún tipo de comportamiento magnético, ya sea *dia-*, *para-*, *ferro-*, *antiferro-* o *ferrimagnetismo* [1, 2, 3]. Aunque la taxonomía del magnetismo es aún mucho más variada (véanse, por ejemplo, las Refs. [4, 5]), esta subdivisión de comportamientos magnéticos de la materia es, en general, suficiente para catalogarlas. A continuación se describe de manera breve una serie de propiedades básicas del magnetismo y del comportamiento magnético de la materia, así como métodos experimentales de caracterización del mismo, que sitúan en perspectiva el presente proyecto, según la propuesta a la que nos hemos referido en la introducción, Cap. 1.

2.1.1. Dependencia térmica de la imanación y de la susceptibilidad

Para un material cuyo comportamiento magnético sea lineal con el campo aplicado H —los *dia-* y *paramagnéticos*¹—, la imanación es

$$M = \chi H \quad (2.1.1)$$

donde χ es la susceptibilidad magnética. La inducción magnética es entonces

$$B = \mu_0 (1 + \chi) H = \mu H \quad (2.1.2)$$

donde $\mu = \mu_0 \mu_r$ es la permeabilidad magnética (μ_0 es la del vacío), y la permeabilidad (relativa) del material es $\mu_r = 1 + \chi$. En los *diamagnéticos*, χ es negativa. En los *paramagnéticos*, χ es positiva. En ambos casos, $|\chi| \ll 1$, por lo que $\mu_r \simeq 1$. Sin embargo,

¹Un paramagnético es una sustancia con momentos magnéticos no interaccionantes entre sí (ley de Curie) o débilmente interaccionantes entre sí (ley de Curie-Weiss) —véase la Fig. 2.1.2—. El campo aplicado orienta estos momentos en su dirección, por lo que el material se satura igualmente cuando todos están orientados. El campo magnético requerido depende fuertemente de la temperatura y es tan intenso que, a efectos prácticos, puede considerarse lineal el comportamiento de la imanación con el campo aplicado. Para una descripción más detallada, que no persigue en absoluto esta introducción, consúltese, por ejemplo, el libro de Chikazumi, Ref. [1].

la dependencia con la temperatura de la susceptibilidad magnética es muy diferente en ambos casos, como se ilustra en la Fig. 2.1.2, lo que permite distinguir de qué tipo de material se trata.

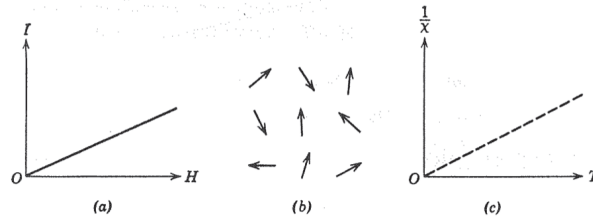


Figura 2.1.1: Paramagnetismo: (a) imanación $I = \mu_0 M$ frente al campo aplicado H . (b) Momentos magnéticos de la substancia paramagnética. (c) Dependencia térmica de la susceptibilidad χ . De la Ref. [1].

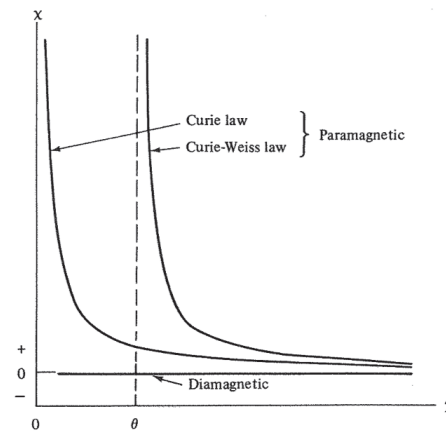


Figura 2.1.2: Dependencia térmica de la susceptibilidad en *dia* y *paramagnéticos*. Las substancias cuyos momentos magnéticos constituyentes interaccionan débilmente entre sí, obedecen la ley de Curie-Weiss. La temperatura θ es una medida de la energía de la interacción. Si son no iteraccionantes, la de Curie. De la Ref. [2].

De manera genérica, la Fig. 2.1.3 ilustra la dependencia térmica de la imanación de saturación M_s para las substancias *ferro*-, *ferri*- y *antiferromagnéticas*.

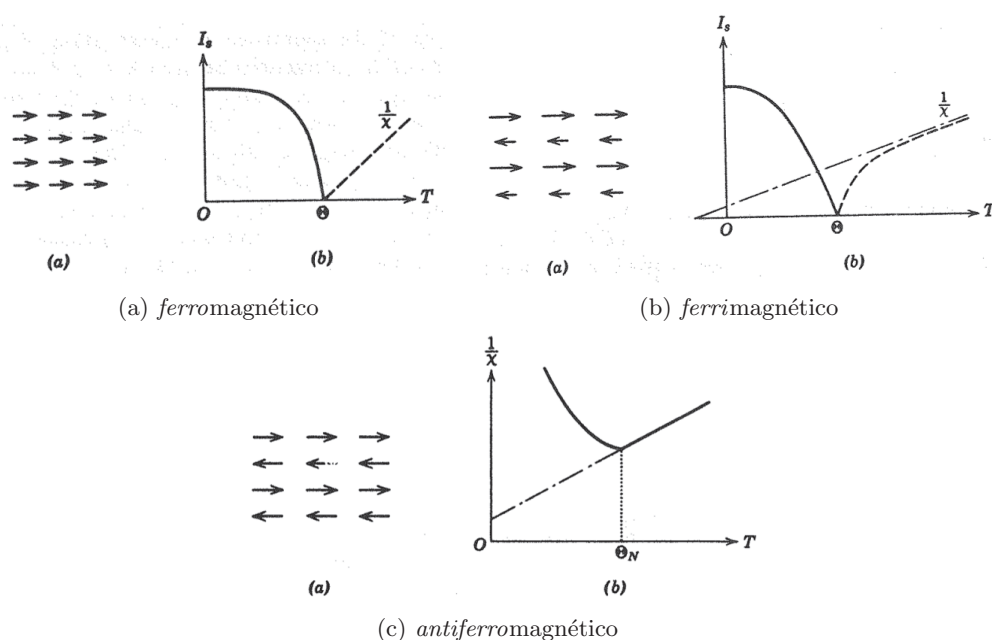


Figura 2.1.3: (a) Disposición de los momentos magnéticos atómicos. (b) Dependencia térmica de la imanación de saturación M_s y de la susceptibilidad χ , por encima de la temperatura Θ o Θ_N de transición a la fase *paramagnética*. De la Ref [1]

En un *ferromagnético*, los momentos magnéticos atómicos están alineados paralelamente entre sí debido a intensas fuerzas de canje, cuyo origen no es *clásico*, sino *cuántico*. La sustancia retiene una imanación permanente, sin la aplicación de un campo magnético, hasta la temperatura de transición Θ , por encima de la cual es un *paramagnético*. En un *ferrimagnético* hay dos subredes, cada una de las cuales es ferromagnética, pero la interacción de canje entre ellas es *antiferromagnética*, lo que fuerza a los momentos magnéticos a orientarse *antiparalelamente* entre sí. Una de las subredes es de mayor momento magnético que la otra, por lo que, en promedio, hay una imanación espontánea M_s no nula. La dependencia térmica de M_s en estas sustancias es similar a la de los ferromagnéticos. (Sin embargo, las interacciones de canje *ferro* de cada una de las subredes no tienen por qué ser de igual intensidad. Cuando esto ocurre y la de mayor momento magnético se convierte en paramagnético antes —a una temperatura menor— que la otra, hay una temperatura llamada de *compensación* a la cual la imanación espontánea promedio de ambas se anula. A temperaturas mayores, aparece la imanación espontánea de la subred cuya interacción de canje aún mantiene orientados los momentos magnéticos. Finalmente, ésta también se convierte en un paramagnético a una temperatura superior y desaparece la imanación espontánea. Esta parte no se ilustra en la Fig. 2.1.3. Puede consultarse en la Ref. [1] bajo el epígrafe de “granates ferrimagnéticos” —*ferrimagnetic garnets*—). En un *antiferromagnético*, la interacción de canje mantiene a los momentos magnéticos orientados antiparalelamente entre sí, de manera que la imanación espontánea es nula. De ahí que no se ilustre una gráfica de la dependencia térmica de la imanación espontánea, que no posee. La sustancia puede imanarse, mediante la aplicación de un campo magnético

suficientemente intenso, que sea capaz de vencer las intensas fuerzas de canje que mantienen a los momentos magnéticos orientados antiparalelamente entre sí. La dependencia térmica de la susceptibilidad es típicamente la mostrada en la Fig. 2.1.3. A la temperatura de transición, llamada de Néel, Θ_N , la sustancia se convierte en un paramagnético.

Materiales ferromagnéticos son, por ejemplo, el hierro, cobalto y níquel cristalinos, sus aleaciones e incluso las aleaciones vítreas² de estos con ciertos metaloides (boro, silicio, aluminio) que, particularmente, son materiales extraordinariamente blandos magnéticamente, con coercitividades tan bajas como $80 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ y permeabilidades superiores a 10^5 . Muchos materiales magnéticos duros, los imanes permanentes, son ferromagnéticos, como los compuestos $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ó SmCo_5 (son compuestos de tierras raras, con neodimio y samario, respectivamente). Su campo coercitivo es elevado (algo mayor de 1 tesla en los compuestos de tierras raras mencionados, [5]). Algunos óxidos son también ferromagnéticos, como el CrO_2 y el EuO [1].

Materiales antiferromagnéticos son muchos óxidos de los metales de transición, como el MnO , FeO , CoO , NiO . También metales de los elementos de tierras raras, como el neodimio o el praseodimio son antiferromagnéticos.

Materiales ferrimagnéticos son las conocidas ferritas: compuestos basados en óxidos de hierro, cobalto o níquel. Algunos de estos compuestos aún se usan como imanes permanentes, aunque su coercitividad y su imanación de saturación son algo más bajos que las de los compuestos de tierras raras. Sin embargo, su proceso de fabricación es más sencillo y son más baratas. Debido a su baja conductividad eléctrica, las pérdidas por corrientes inducidas son muy pequeñas, por lo que se emplean en aplicaciones de alta frecuencia.

²Algunos de estos materiales no existen espontáneamente en la naturaleza, sino que han sido fabricados por el hombre.

2.1.2. Ciclos de histéresis y permeabilidad

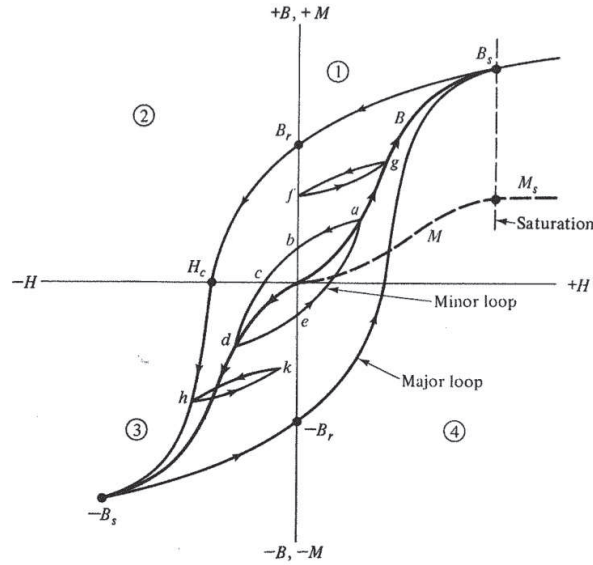


Figura 2.1.4: Ciclo de histéresis. De la Ref. [2].

Una sustancia ferromagnética exhibe un comportamiento magnético, a una temperatura dada, como el que se ilustra en la Fig. 2.1.4. Bajo la aplicación de un campo magnético externo, el espécimen se imana (adquiere una imanación M) hasta alcanzar un valor de saturación magnética M_s . La inducción magnética $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$ —en el S.I. de unidades— no se satura, pues es proporcional a H . Partiendo desde el estado desimanado ($H = 0, M = 0$), el espécimen se imana siguiendo la curva de inducción B , *que no es lineal*. Para valores del campo aplicado suficientemente pequeños, el comportamiento es prácticamente reversible, sin apenas histéresis. El pequeño ciclo tiene forma de lanceta, llamada de Rayleigh —de aspecto similar al ciclo menor fg de la Fig. 2.1.4—. Si llegado al estado a , se retira el campo aplicado, el material queda en un estado b en el que retiene cierta imanación. Para desimarlo, es necesario aplicar campo H en sentido contrario hasta alcanzar el estado c de imanación nula. Este estado de imanación nula corresponde al valor macroscópico o promedio de la imanación y no es el mismo que el estado desimanado inicial. La configuración microscópica de la imanación en los estados desimanados inicial y c es diferente, aunque el valor promedio de ésta sea en ambos casos nulo. Si se sigue aplicando más campo en sentido inverso, el espécimen alcanza el estado d , equivalente, pero en sentido inverso, al estado a . Al retirar este campo, se alcanza el estado e , equivalente al b . Y si se aplica campo en el sentido inicial, se vuelve a pasar por el estado a . La curva de primera imanación es la que pasa por los estados a y g . Si, alcanzada la saturación magnética, se retira el campo aplicado, el material queda con una imanación remanente M_r ($B_r = \mu_0 M_r$). El llamado campo coercitivo H_c es el necesario para desimantar el material que previamente se ha imanado a saturación. El ciclo de histéresis (*major loop*) corresponde a imanar a saturación el espécimen. Los ciclos menores (*minor loop*),

como el *abcdea* y el *fg*, dan información del comportamiento magnético del material, pero de ellos no se obtienen los valores de remanencia B_r o de campo coercitivo H_c .³

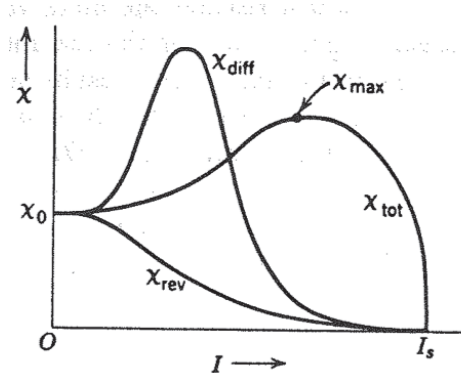


Figura 2.1.5: Dependencia de la susceptibilidad con el estado magnético (la imanación $I = \mu_0 M$) de la substancia, a temperatura constante. De la Ref. [1].

Para un medio magnético no lineal, la susceptibilidad χ —o bien la permeabilidad (relativa) μ_r — dependen del estado magnético en el que esté la substancia. La figura 2.1.5 ilustra, de manera genérica, la evolución de la susceptibilidad $\chi = M/H$ con el estado magnético. χ_0 es el valor inicial de ésta. La susceptibilidad diferencial es $\chi_{diff} = dM/dH$. La susceptibilidad reversible es la pendiente M/H de los ciclos menores, reversibles, como el *fg* de la Fig. 2.1.4. La susceptibilidad total χ_{tot} es el cociente M/H de la curva de primera imanación (la pendiente de la línea que conecta el origen con cada valor de imanación a lo largo de la curva de primera imanación).

En un susceptómetro-AC se determina la susceptibilidad diferencial. Bajo la aplicación de un campo magnético estático (superpuesto al alterno), puede imanarse parcialmente la substancia y medir la susceptibilidad en diferentes estados de imanación.

2.1.3. Métodos experimentales

2.1.3.1. Fuerza sobre el espécimen magnético

Los primeros sistemas de determinación del comportamiento magnético de una substancia hacían uso de la fuerza que experimenta una substancia imanada (un pequeño imán), inmersa en un gradiente de campo magnético. El origen es: un pequeño imán de momento magnético \mathbf{m} en un campo magnético de inducción \mathbf{B} posee una energía potencial

$$E_p = -\mathbf{m} \cdot \mathbf{B} \quad (2.1.3)$$

La energía potencial depende de la orientación y de la posición —si el campo magnético no es uniforme— que tiene el imán en el seno del campo, por lo que éste experimenta un

³Hay dos campos coercitivos: el que hace que la imanación sea nula ($M = 0$) y el que hace que sea $B = 0$. El ilustrado es el segundo de ellos. Para una material magnético *blando*, que se imana fácilmente (en campos aplicados pequeños), la diferencia es inexistente. Para materiales magnéticos *duros*, los imanes permanentes, esta diferencia sí es apreciable e importa saber a cuál se refiere uno.

par de fuerzas τ que tiende a orientarlo en el sentido del campo, $\tau = \mathbf{m} \times \mathbf{B}$, y una fuerza \mathbf{F} que tiende a llevarlo a regiones en las que el campo es más intenso

$$\mathbf{F} = -\nabla E_p \quad (2.1.4)$$

La balanza de Faraday [2] hace uso de esta propiedad. En la UPNa se dispone de una balanza para análisis termogravimétrico (TGA)⁴, que puede emplearse para analizar especímenes magnéticos creando en la región de la muestra, en la balanza, un campo magnético no uniforme. De esta manera se miden variaciones aparentes de peso, que son debidas a la fuerza de origen magnético. Mediante este procedimiento es difícil determinar valores absolutos de la susceptibilidad (dc) magnética, pues se requiere conocer con precisión la magnitud del campo y de su gradiente [2]. Se usa habitualmente para determinar la temperatura de Curie (de transición de *ferro* a *paramagnético*), Fig. 2.1.3.

Otros sistemas actuales que hacen uso de esta propiedad son el magnetómetro de gradiente alterno de campo (AGM) —recientemente se diseñó en el campus de Tudela uno [6]— y el microscopio de fuerza magnética [7]. En este último, el contraste de la imagen de la muestra que se analiza es debido a la interacción del (gradiente del) campo magnético creado por ella (la muestra) con la punta magnética del microscopio.

2.1.3.2. Fuerza electromotriz inducida

La propiedad que se emplea es la de inducción electromagnética, de Faraday [3]: la variación del flujo de campo magnético que enlaza una bobina secundaria origina en ésta una fuerza electromotriz (*fem*). De esta propiedad hace uso el magnetómetro de muestra vibrante (VSM, de *Vibrating Sample Magnetometer*), en el que una muestra se imana mediante un campo magnético estático a la vez que se hace vibrar (oscilar) próxima a un sistema de bobinas secundarias. En ellas se induce una *fem* que es proporcional a la frecuencia de oscilación y al momento magnético adquirido por la muestra [2]. En la UPNa se diseñó hace unos años un VSM [8], que operaba a temperatura ambiente.

Un susceptómetro AC está basado también en la inducción de una *fem* en un sistema de bobinas secundarias, pero por una muestra que se imana débilmente (en campos magnéticos poco intensos) mediante un campo magnético alterno. Consideremos un campo uniforme en la región en la que está la muestra, cuya variación temporal sea

$$H = H_0 \sin(\omega t) \quad (2.1.5)$$

en el que $\omega = 2\pi f$. La imanación del espécimen magnético es, en general, no lineal con el campo aplicado, de manera que puede expresarse en serie de Fourier

$$M = M_{dc} + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \sin(k\omega t) + b_k \cos(k\omega t) \quad (2.1.6)$$

⁴Hay sendas balanzas en el Servicio de Apoyo a la Investigación (SAI) y en el departamento de Física.

donde los coeficientes de imanación son

$$\begin{aligned} a_k &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} M(t) \sin(k\omega t) d(\omega t) \\ b_k &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} M(t) \cos(k\omega t) d(\omega t) \end{aligned} \quad (2.1.7)$$

y M_{dc} es la imanación promedio de la muestra, del estado magnético alcanzado bajo la aplicación de un campo estático, estado que es dependiente de la historia magnética del material. Para un medio lineal, $a_1 = \chi H_0$ y los coeficientes restantes son todos nulos. Para un medio no lineal e irreversible —que presenta un pequeño ciclo de histéresis, cual una lanceta de Rayleigh (véase [1] o [2])—, se conoce que el coeficiente b_1 es proporcional a las pérdidas de energía magnética en el proceso cíclico histerético [1]. Todos los coeficientes son en general no nulos, aunque sigue siendo una cuestión abierta qué información del proceso magnético aportan.

La susceptibilidad magnética χ puede considerarse una magnitud compleja: $\chi = \chi' + i\chi''$ cuya parte real χ' está en fase con el campo aplicado y cuya parte imaginaria χ'' está en cuadratura con el campo. Así, la imanación puede escribirse

$$M = M_{dc} + H_0 \sum_{k=1}^{\infty} \chi'_k \sin(k\omega t) + \chi''_k \cos(k\omega t) \quad (2.1.8)$$

La *fem* inducida en un secundario que enlaza cierto flujo Φ de campo magnético, variable en el tiempo, viene dada por la expresión fundamental del electromagnetismo [3]:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} \quad (2.1.9)$$

en la que $\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$ depende tanto del campo aplicado como de la imanación adquirida por el medio (que, a su vez, crea campo magnético). En un sistema compensado de bobinas secundarias, es únicamente debida a la aportación magnética de la muestra en estudio —y no al campo aplicado para imanarla—

$$\begin{aligned} \varepsilon &= -\frac{d}{dt} [\mu_0 M (NS)_s] \\ &= -\mu_0 (NS)_s \omega \sum_{k=1}^{\infty} k a_k \cos(k\omega t) - k b_k \sin(k\omega t) \end{aligned} \quad (2.1.10)$$

donde $(NS)_s$ es la sección efectiva del secundario en el que se induce la *fem*. Ésta puede escribirse como el desarrollo en serie de armónicos:

$$\varepsilon = \sum_{k=1}^{\infty} \varepsilon_k \cos(k\omega t + \phi_k) \quad (2.1.11)$$

donde la amplitud es $\varepsilon_k = \mu_0 (NS)_s k\omega \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ y la fase es $\phi_k = \arctan(b_k/a_k)$. La relación entre la *fem* inducida y la susceptibilidad es entonces

$$\begin{aligned}\chi'_k &= \frac{a_k}{H_0} = -\frac{\varepsilon_k \cos \phi_k}{\mu_0 H_0 (NS)_s k\omega} \\ \chi''_k &= \frac{b_k}{H_0} = -\frac{\varepsilon_k \sin \phi_k}{\mu_0 H_0 (NS)_s k\omega}\end{aligned}\quad (2.1.12)$$

Determinación de la fem inducida en una bobina por un momento magnético puntual La parte del proyecto en la que se determina, mediante algoritmos de optimización, la geometría de los secundarios, tiene como fundamento lo que sigue.

La *fem* inducida viene dada por la ec. 2.1.9. El campo magnético puede escribirse como $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$, donde \mathbf{A} es el potencial magnético vector [3]. Según el teorema de Stokes, la ec. 2.1.9 se transforma en:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt} \iint \nabla \times \mathbf{A} \cdot d\mathbf{S} = -\frac{d}{dt} \oint \mathbf{A} \cdot d\mathbf{l} \quad (2.1.13)$$

en el que la circulación se realiza en el contorno cerrado que limita la superficie, a través de la que hay flujo de campo magnético. Es decir, hay un campo electromotor $\mathbf{E}_m = -\frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}$ creado por un potencial magnético variable en el tiempo, del que se origina la *fem*. El potencial magnético vector \mathbf{A} creado por un momento dipolar magnético \mathbf{m} en un punto \mathbf{r} del espacio —estando su origen en la posición del dipolo magnético puntual— es [3]:

$$\mathbf{A}(\mathbf{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\mathbf{m} \times \mathbf{r}}{r^3} \quad (2.1.14)$$

En un secundario inmóvil, de geometría fija, la *fem* inducida es debida a la variación temporal del momento magnético, como es el caso del susceptómetro-AC. El campo magnético alterno imana la substancia a la frecuencia de excitación del campo, creando un momento magnético variable en el tiempo $\mathbf{m}(t) = \mathbf{M}(t) \cdot V$, donde V es el volumen de la muestra. Como se hace uso del potencial \mathbf{A} creado por un dipolo *puntual*, la aproximación es válida si las dimensiones de la muestra son pequeñas comparadas con las de la bobina secundaria o bien si la bobina está suficientemente alejada del dipolo.

Considerando el momento magnético en el origen de un sistema de referencia y una espira circular, de radio R , orientada perpendicularmente al dipolo y coaxial con él, a distancia z del mismo, la *fem* inducida es —realizando la circulación de la ec. 2.1.13 en el sentido del campo electromotor \mathbf{E}_m —

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{d}{dt} \left[\frac{\mu_0}{2} m(t) \frac{R^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}} \right] \\ &= \frac{\mu_0}{2} \frac{R^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}} V \frac{dM}{dt}\end{aligned}\quad (2.1.15)$$

La relación de la *fem* ε , ec. 2.1.11, con los armónicos de la susceptibilidad es entonces:

$$\begin{aligned}\varepsilon_k \cos \phi_k &= \frac{\mu_0 H_0}{2} \frac{R^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}} V \chi'_k k \omega \\ \varepsilon_k \sin \phi_k &= \frac{\mu_0 H_0}{2} \frac{R^2}{(z^2 + R^2)^{3/2}} V \chi''_k k \omega\end{aligned}\quad (2.1.16)$$

2.1.4. Sistemas de unidades en magnetismo

En la tabla 2.1.1 se recoge la relación entre los sistemas de unidades más empleados en magnetismo y la equivalencia entre ellas. El empleo habitual de ambas resulta confuso en ocasiones. Con el propósito de clarificar la confusión entre la polarización magnética y la imanación: una imanación de 1 emu/cm³ es equivalente a una inducción magnética de 4 π G (gausses), ambas en el sistema CGS, y de ahí equivalente a una polarización magnética de 4 $\pi \cdot 10^{-4}$ T (SI). Dividiendo este valor por μ_0 ($= 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m),⁵ se tiene una imanación equivalente de 10³ A/m (SI). En el SI es habitual hablar de imanación (M) mientras se dan valores de *polarización magnética* ($\mu_0 M$), en teslas. De igual manera ocurre con respecto al campo magnético H . Así, un campo de valor 1 T ($\mu_0 H$), equivalente a $H \simeq 796$ kA/m, ambos en el SI, es equivalente a 10⁴ G o bien a 10⁴ Oe. Por último, en cuanto a la permeabilidad (relativa): un valor de $\mu_r = 1$ ($\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{T}{A/m}$) en el SI equivale a $4\pi \cdot 10^{-7} \times \frac{10^4 G}{4\pi 10^{-3} Oe} = 1 G/Oe$ en el CGS. Por tanto, $\chi_{SI} = 4\pi \chi_{CGS}$.

2.2. Diseño de un susceptómetro AC

Un susceptómetro-AC típico se compone de un conjunto de bobinas coaxiales: una bobina primaria, exterior, que se emplea para la generación de campo magnético alterno, de frecuencia y amplitud regulables; una asociación en serie oposición de bobinas secundarias, interiores, en las que se recoge la tensión eléctrica (señal) proporcional al momento magnético adquirido por la muestra, situada en una de ellas. También es posible encontrar una tercera bobina primaria, exterior a las anteriores, para producir campo magnético estático. (Éste podría, no obstante, generarse en la bobina primaria inicial, siempre que se dispusiera de una fuente AC+DC).

El rango típico de valores de amplitud del campo magnético alterno es de 1 μ T a 10 mT. La frecuencia, en el rango típico de 1 a 10⁴ Hz, aunque cuanto más alto el límite superior, mejor.

Los susceptómetros comerciales existentes están provistos de un recipiente criogénico en el que se sitúa la muestra, de manera que la temperatura a la que se encuentra el espécimen se puede regular desde, típicamente, 4 K (269^oC bajo cero) hasta ambiente, mediante un criostato de helio de ciclo abierto. En uno de ciclo cerrado, la temperatura inferior es ligeramente más alta, del orden de 8-10 K.

⁵En el sistema CGS, la permeabilidad magnética del vacío es $\mu_0 = 1 G/Oe$.

		S.I.	C.G.S.	
	<i>Símbolo</i>	$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M})$	$\mathbf{B} = \mathbf{H} + 4\pi\mathbf{M}$	<i>Equivalencia</i>
<i>Inducción</i>	B	tesla, T	gauss, G	1 T = 10^4 G
<i>Campo magnético</i>	H	A/m	oersted, Oe	1 A/m = $4\pi \cdot 10^{-3}$ Oe
<i>Imanación</i>	M	A/m	emu/cm ³ (\equiv Oe)	1 A/m = 10^{-3} emu/cm ³
<i>Momento magnético</i>	m	Am ² (\equiv J/T)	emu (\equiv erg/G)	1 Am ² = 10^3 emu
<i>Polarización magnética</i>	J ó I ($\mu_0\mathbf{M}$)	T	G	1 T = $(10^4/4\pi)$ G
<i>Susceptibilidad</i>	χ	$\mu = \mu_0 (1 + \chi)$ <i>adimensional</i>	$\mu = 1 + 4\pi\chi$ (emu/cm ³ /Oe \equiv <i>adim</i>)	1 (SI) equivale a $\frac{1}{4\pi}$ (CGS)
<i>Permeabilidad</i>	$\mu_r = \mu/\mu_0$	<i>adimensional</i> $\mu_r = 1 + \chi$	(G/Oe \equiv <i>adim</i>) $\mu \equiv \mu_r = 1 + 4\pi\chi$	1 (SI) = 1 (CGS)

Cuadro 2.1.1.1: Sistemas de unidades empleados en magnetismo y sus equivalencias. Adaptado de la Ref. [5].

El logro de mediciones de alta precisión, en función de la temperatura y del campo magnético (amplitud y frecuencia), requiere tener cuidado en la selección de los materiales de construcción, así como en el diseño. No solo el sistema debe estar apantallado de ruido eléctrico externo, que se consigue encerrando el sistema en un recipiente metálico, que actúa como pantalla de Faraday. Dado que el sistema está basado en la generación de un campo magnético alterno, es esencial que el diseño del mismo tenga en cuenta el ruido (como señal no deseada) proveniente de las corrientes inducidas en los distintos elementos metálicos que conforman el sistema, de manera que su influencia en los detectores (bobinas secundarias) sea mínima.

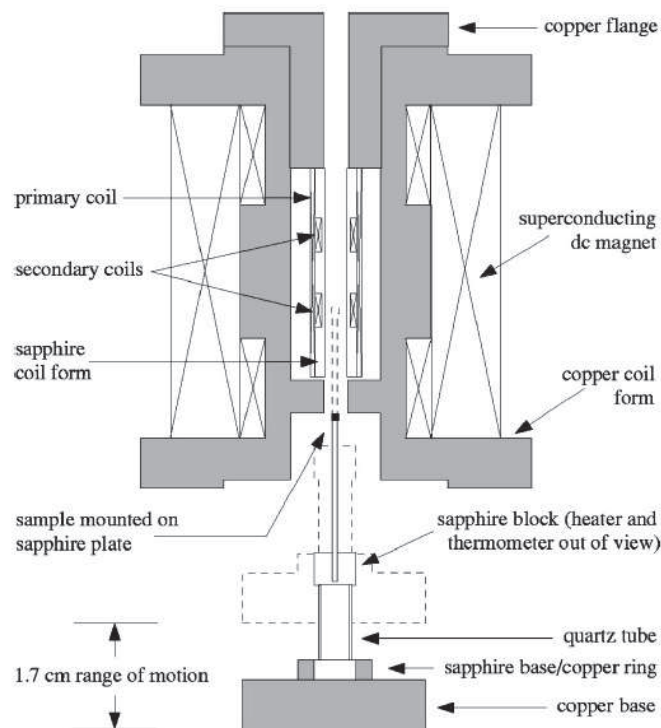


Figura 2.2.1: Susceptómetro AC, según [9]. (a) *Primary coils*: bobinas primarias. (b) *Secondary coils*: bobinas secundarias. (c) *Sapphire coil form*: soporte en zafiro de la bobina. (d) *Sample mounted on sapphire plate*: muestra montada en placa de zafiro. (e) *1.7cm range of motion*: rango de movimiento de 1.7cm. (f) *Copper base*: base de cobre. (g) *Sapphire base/copper ring*: base de zafiro (interior a) anillo de cobre. (h) *Quartz tube*: tubo de cuarzo. (i) *Sapphire block (heater and thermometer out of view)*: bloque de zafiro (calentador y termómetro no mostrados). (j) *Copper coil form*: soporte en cobre de la bobina (superconductora). (k) *Superconducting dc magnet*: imán superconductor (bobina)-dc. (l) *Copper flange*: anillo de cobre.

Además, se debe tener en cuenta, en la medida de lo posible, la descompensación de las bobinas secundarias —conectadas en serie oposición, para anular la señal eléctrica en ausencia de la muestra— debida además de su inherente asimetría por su construcción (no es posible hacer dos exactamente iguales) al gradiente térmico en el interior del vaso criogénico. Por ello, la elección de los materiales que conforman el sistema compacto (rígido)

de los secundarios es importante.

Una visión de conjunto del cuerpo de un susceptómetro AC está dado en la figura 2.2.1, la cual muestra un dibujo, aproximadamente a escala, de la disposición de las bobinas y el posicionamiento de la muestra.

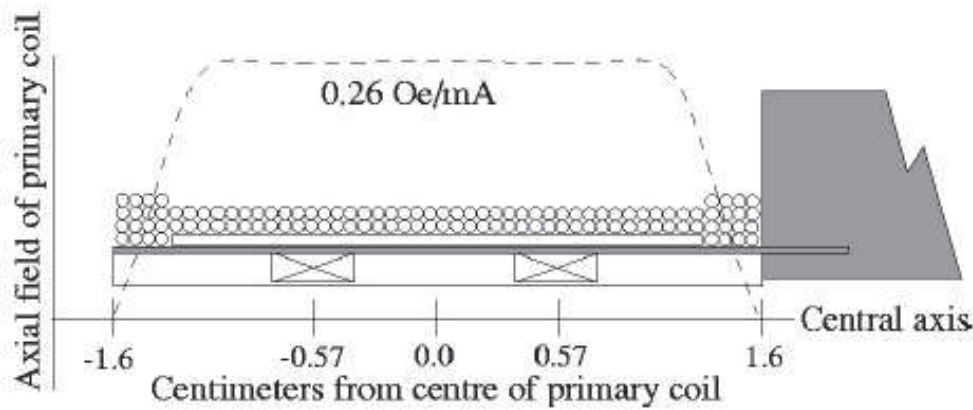


Figura 2.2.2: Disposición y geometría de las bobinas primaria y secundaria, según la Ref. [9], que muestra la variación espacial de la amplitud del campo magnético alterno. Un campo magnético de 1Oe (sistema CGS de unidades) es equivalente a $\simeq 79,58 \text{ A/m}$ (\mathbf{H}) ó 0.1mT (\mathbf{B}) ($\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{H}$). *Axial field of primary coil*: campo axial de la bobina primaria. *Centimeters from centre of primary coil*: centímetros desde el centro de la bobina primaria. *Central axis*: eje central (de simetría).

Según los autores de la Ref. [9], el primer paso para lograr una buena resolución (alta sensibilidad) es tener un alto grado de simetría en la disposición de las bobinas entre sí y también en el entorno de éstas. El centro de las bobinas primarias (*a*) coincide con el centro del imán superconductor de corriente continua (dc) (*k*). Las dos bobinas interiores secundarias (*b*) están espaciadas simétricamente alrededor de este centro, y todas las bobinas comparten el mismo eje central. Las corrientes inducidas (de Foucault) estarán presentes en el soporte de cobre de la bobina superconductora (imán superconductor dc) (*j*), así que es imperativo que el anillo de cobre (superior) (*l*) que sujeta la bobina primaria esté también hecho de cobre y tenga un orificio central que se asemeje a la abertura que hay en el soporte de la bobina dc (*f* y *g*), que permite la inserción de la muestra en el secundario. De esta manera, las corrientes inducidas en los soportes metálicos, que generan a su vez un campo magnético alterno, inducen en cada bobina secundaria una tensión eléctrica de igual magnitud pero de signo contrario (al estar conectadas en serie-oposición), por lo que la señal eléctrica total se cancela en ausencia de una muestra. Con una muestra presente, la tensión eléctrica inducida en el sistema de bobinas secundarias es directamente proporcional al momento magnético de la muestra.

La figura 2.2.2 muestra un esquema de la construcción de las bobinas primaria y secundaria, según los autores de la Ref. [9].

2.2.1. Esquema global de funcionamiento

En la figura (2.2.3) se muestra esquemáticamente las conexiones de los diferentes equipos y componentes que integran el susceptómetro AC.

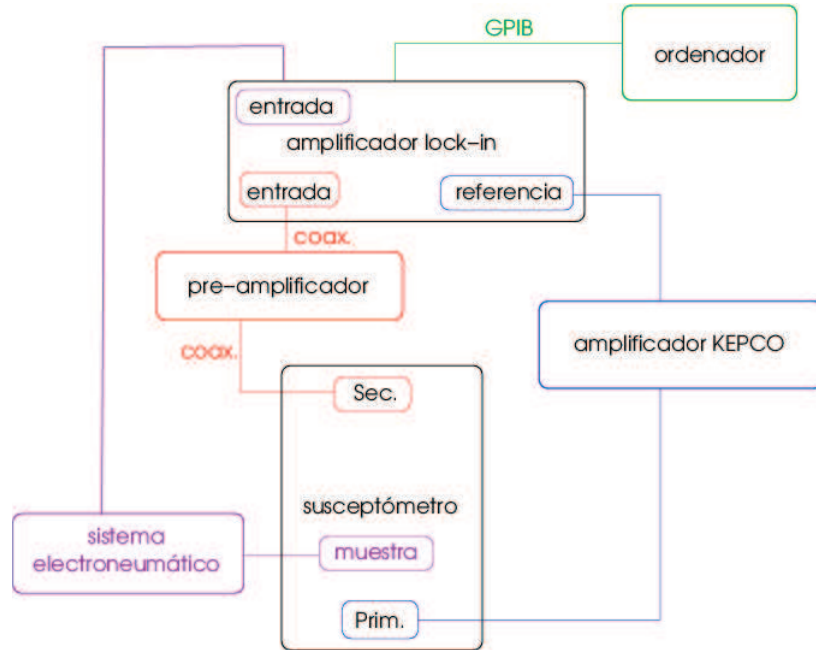


Figura 2.2.3: Esquema global

2.2.2. Sistema productor de campo magnético

Teniendo en cuenta las especificaciones de la fuente de alimentación KEPCO se ha diseñado la geometría de las bobinas primarias.

La fuente de alimentación KEPCO, proporciona una tensión de 36 V y 12 A, bipolar. Impedancia de salida: 60 micro ohmios y 50 micro henrios . Ancho de banda: 5.6 kHz para carga de 2mH inductancia; 11kHz para carga resistiva pura. La señal eléctrica proviene de la salida de referencia del lock-in que es amplificada por la KEPCO. Ésta alimenta las a las bobinas primarias.

2.2.3. Sistema detector

2.2.3.1. Bobinas secundarias

En un susceptómetro AC se hace uso de dos bobinas secundarias (en principio idénticas), coaxiales entre sí (separados sus centros la distancia 2 D) y conectadas en serie-oposición. El conjunto está en el interior del dewar, y coaxialmente con bobinas primarias, que generan el campo magnético alterno, de amplitud y frecuencia f regulables, mencionadas antes.

Cada bobina secundaria es una inductancia resistiva de cierta capacidad, que es necesario conocer, con el objeto de diseñar convenientemente el sistema de amplificación de la

señal eléctrica, que se tiene cuando una muestra magnética a caracterizar se sitúa en el interior de una de ellas.

La bobina es entonces, como dispositivo eléctrico, una inductancia L_s (pura) y una resistencia R_s en serie entre sí, con un capacitor C_s en paralelo entre ellas (figura 2.2.4)

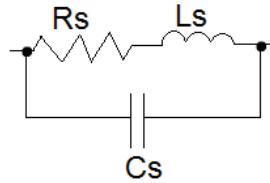


Figura 2.2.4: Bobina secundaria

En un Susceptómetro AC, la *fem* inducida tiene dos componentes (eccs. 2.1.12 y 2.1.16): una en fase con el campo, es proporcional al momento magnético; mientras que la componente en cuadratura con el campo es proporcional a las pérdidas por efectos disipativos. El rango de frecuencias en el que la bobina secundaria puede emplearse como detector depende de su inductancia L_s y su capacidad parásita C_s . En la figura (2.2.5) vemos como la impedancia de la bobina se desvía del comportamiento proporcional a la frecuencia cerca de la resonancia. En ausencia de muestra a frecuencias por debajo de la frecuencia de resonancia la tensión inducida en ella mantiene una fase constante con la corriente generadora de campo que circula por las bobinas primarias. La aparición de una fase a frecuencias próximas a la de resonancia desvirtúa la interpretación de la componente en cuadratura de la *fem* inducida como debida a la aparición de fenómenos disipativos en la muestra magnética en análisis.

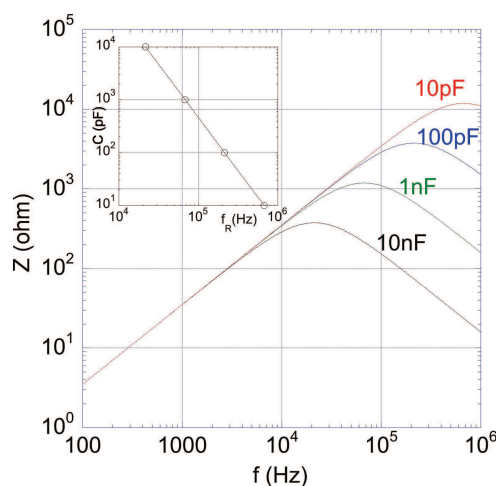


Figura 2.2.5: Impedancia Z_s para diferentes valores de capacidad C

2.2.3.2. Amplificador

La señal detectada por el sistema compensado de bobinas secundarias se lleva a un amplificador *lock-in* SRS-830. El ruido de tensión del amplificador *lock-in* es, según especificaciones $e_n \simeq 5-6 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, que equivale a una resistencia (como fuente del ruido Johnson) de $R_s \simeq 2 \text{ k}\Omega$. La relación señal-ruido se optimiza si la fuente de la señal tiene una resistencia $R_s \gtrsim R_{eq}$. Puede emplearse también una bobina de menor resistencia y un pre-amplificador, de manera que la resistencia de la fuente que ve el amplificador *lock-in* ($R_s \times G$) sea de ese orden, siendo G la ganancia del preamplificador.

El amplificador operacional elegido para el pre-amplificador es un LT 1028.

Está indicado especialmente para amplificar señales cuya fuente sea de baja resistencia R_s , del orden de 100 Ω , como ocurre con las bobinas detectoras de campo magnético.

2.2.4. Sistema de control

Programa en LabView (*National instrumets*) de control de:

- Amplitud y frecuencia de la señal (amplificada por la fuente KEPCO) alimenta las bobinas primarias.
- Parámetros de amplificación *lock-in* de detección de la señal.
- Señal auxiliar (tensión eléctrica) de salida del lock-in para alimentar el sistema electroneumático.
- Recogida de datos en el ordenador, a través de un interfaz GPIB (*National instrumets*)

Capítulo 3

Descripción del Proyecto

Como se ha mencionado anteriormente, el diseño del susceptómetro-AC conlleva dos partes importantes. La parte superior es un sistema mecánico que nos permite el posicionamiento correcto de la muestra, así como su intercambio de manera cómoda. La parte inferior es un conjunto de bobinas primarias (generadoras de campo magnético alterno) y secundarias (detectoras de la señal, la *fem* inducida en ellas), cuya geometría se ha diseñado de acuerdo con las restricciones dimensionales impuestas por el vaso criogénico dewar del que se dispone: modelo VADE-102 de la firma *Isotherm*, de vidrio de borosilicato, revestido de aluminio y esmalte azul Pobel (Fig. 3.0.1).

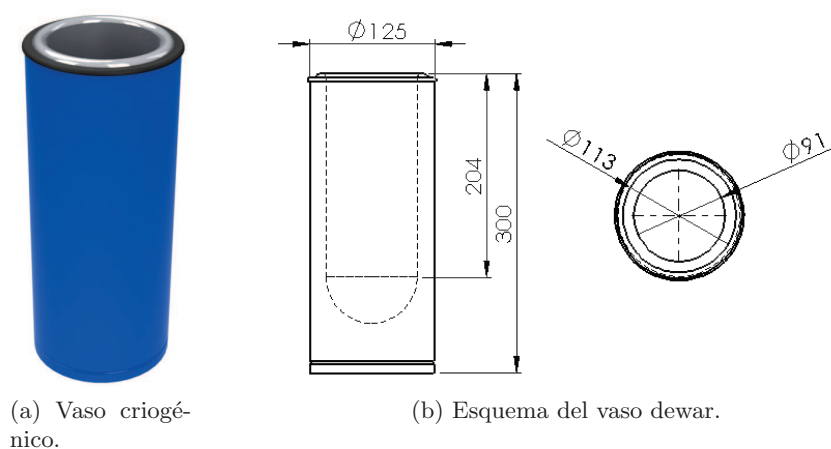


Figura 3.0.1: Dewar

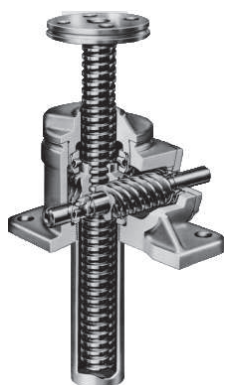
El recipiente criogénico permite medir la susceptibilidad magnética desde 77K (196°C bajo cero) hasta temperatura ambiente.

Este sistema se ha diseñado de tal manera que se pueda fabricar con las máquinas y medios de los que se dispone en el campus de Tudela de la UPNa.

3.1. Sistema superior

Los requerimientos para el diseño del sistema superior son en esencia tres:

1. Que el intercambio de la muestra pueda realizarse sin tener que abrir el recipiente criogénico, de manera que el conjunto inferior pueda continuar a temperaturas criogénicas. Tener que manipular el interior requeriría tener que esperar a que el sistema se calentase hasta temperatura ambiente y después tener que enfriarlo de nuevo, para medir otra muestra.
2. Además, la manipulación del sistema superior para el intercambio de la muestra tiene que ser cómoda y sencilla, sin elementos mecánicos complejos, pero sin que se pierda por ello la precisión de colocar la muestra en su posición de medida con una resolución de 10 micras (0.010 milímetros).
3. El sistema debe poder colocar la muestra en dos posiciones diferentes, de manera reiterativa (a lo largo de una rampa térmica), para medir el ruido eléctrico de fondo y substrarlo de la señal, con el objeto de mejorar la sensibilidad del instrumento. Para ello se ha diseñado un sistema electroneumático basado en la literatura científica conocida [10], de la que hemos hablado en el capítulo 2.



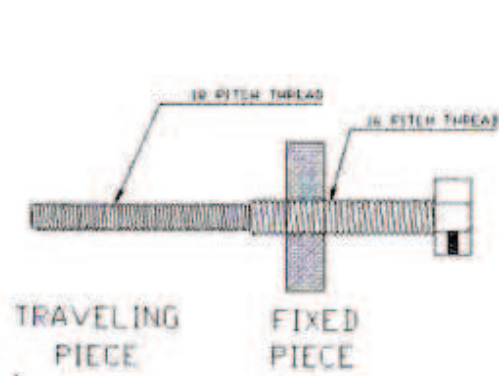
(a) Tornillo de potencia



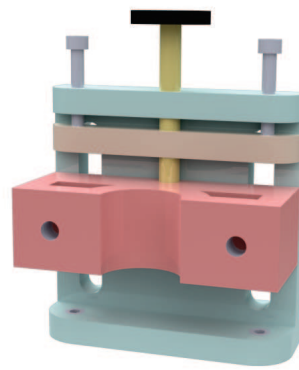
(b) Sinfín-corona

Figura 3.1.1

Para cumplir con los requerimientos de los apartados anteriores, se pensó en un sistema con movimiento de precisión en la dirección vertical, Z (que es el eje de simetría cilíndrica del sistema electromagnético inferior), combinado con movimiento radial (eje X) grueso. En esta dirección radial, es únicamente necesario que la muestra se coloque en el eje Z con precisión, mientras que el sistema se puede retraer a la posición de intercambio, que puede ser cualquiera, con tal de que permita el intercambio de la muestra de manera sencilla y cómoda. Para ello, se ha ideado un sistema con un tope en la dirección radial. Las dimensiones y las tolerancias de los elementos que permiten este movimiento se han escogido de manera acorde con este requerimiento.



(a) Tornillo diferencial



(b) Superposición de diferentes roscas. (Tornillo diferencial)-

Figura 3.1.2

Sin embargo, dado que en la dirección vertical la muestra debe colocarse con precisión en el centro de uno de los carretes secundarios, con independencia del tamaño de la muestra (de dimensiones lineales de 2 ó 3 mm, típicamente), pensamos en diferentes posibilidades, que debían ser compatibles con el requerimiento de colocar la muestra en la posición de fondo (para medir el ruido eléctrico de fondo, como se ha dicho), mediante un sistema electroneumático. Tales son:

1. Tornillo de potencia (figura 3.1.1a).
2. Sinfín-corona (figura 3.1.1b).
3. Tornillo diferencial (figura 3.1.2a).
4. Superposición de diferentes roscas (roscas cuadrada y fina, figura ??).

El funcionamiento del mecanismo de diferentes roscas que se diseñó es el siguiente: los dos tornillos hacen una aproximación basta, y luego con el husillo de rosca fina se aproxima a la precisión requerida dándole el giro necesario. Pero el gran inconveniente estaba en la aproximación basta, ya que como son dos roscas independientes una con la otra, se tenían que hacer los dos movimientos en uno solo. Para solucionar este problema se pensó en colocar en la cabeza de los tornillos unas cabezas dentadas y para unirlos una correa dentada de manera que, cuando se girase un tornillo, también girase el otro y así mantener el paralelismo de la pieza a la que estaban sujetos.

En el tornillo diferencia, el movimiento de aproximación entre las dos piezas unidas a cada una de las roscas se realiza con un paso que es la diferencia de los pasos de las roscas. No hay aproximación o movimiento basta en el tornillo diferencial, que debe realizarse mediante otro mecanismo.

Se desecharon unas por su precio demasiado elevado y otras por su dificultad a la hora de fabricarlas con nuestros medios. Finalmente se decidió que la mejor opción era acoplar un micrómetro con una precisión de 0.010 milímetros. Como la superficie del micrómetro

era irregular, se rectificó. Así, por medio del soporte micrómetro (figura 3.1.13), se pudo fijar correctamente.

La figura 3.1.3 ilustra el mecanismo diseñado.

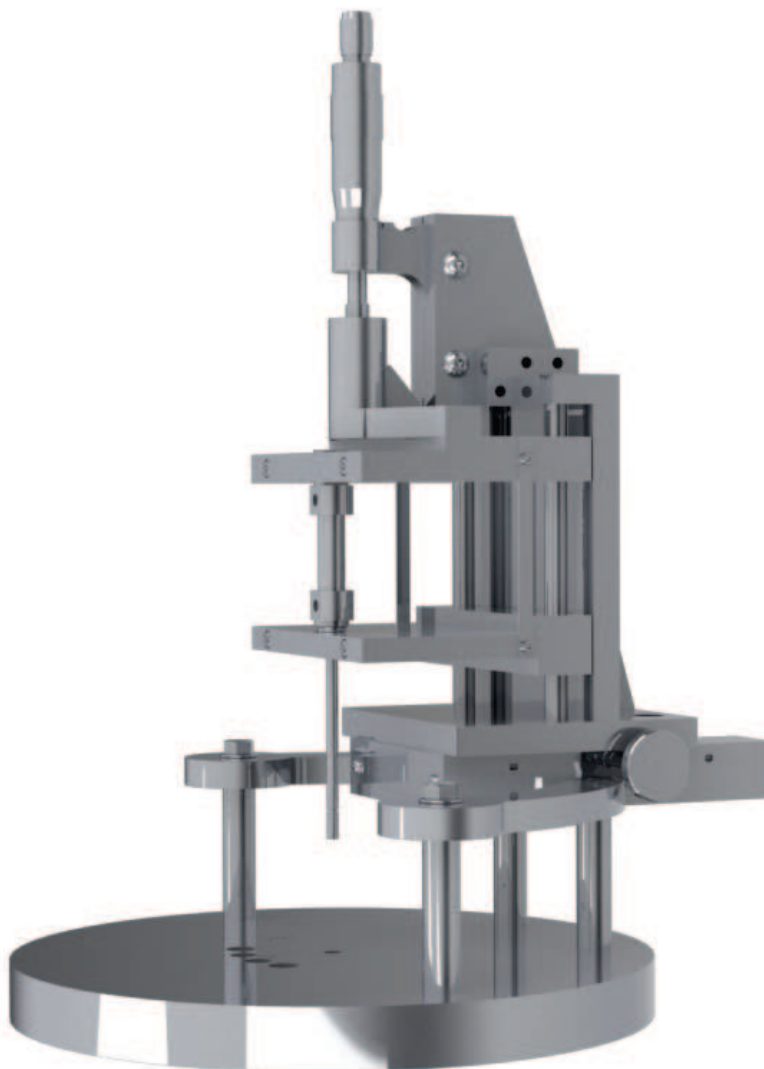


Figura 3.1.3: Mecanismo de la parte superior

Pasaremos a describir cada uno de los elementos que componen el sistema, explicando lo esencial de su funcionamiento. Los planos técnicos de cada una de ellas se encuentran en el capítulo 4.

3.1.1. Conjuntos

A continuación se ha dividido el sistema en subconjuntos, para explicar más detalladamente el funcionamiento de cada uno de ellos. Cada subconjunto descrito lleva su despiece en el que se puede observar el ensamblaje de las piezas.

3.1.1.1. Sujeción del micrómetro

Para poder sujetar firmemente el micrómetro, se diseñó un sistema de sujeción mediante compresión, que restringe cualquier tipo de movimiento, como se puede observar en la figura 3.1.4.

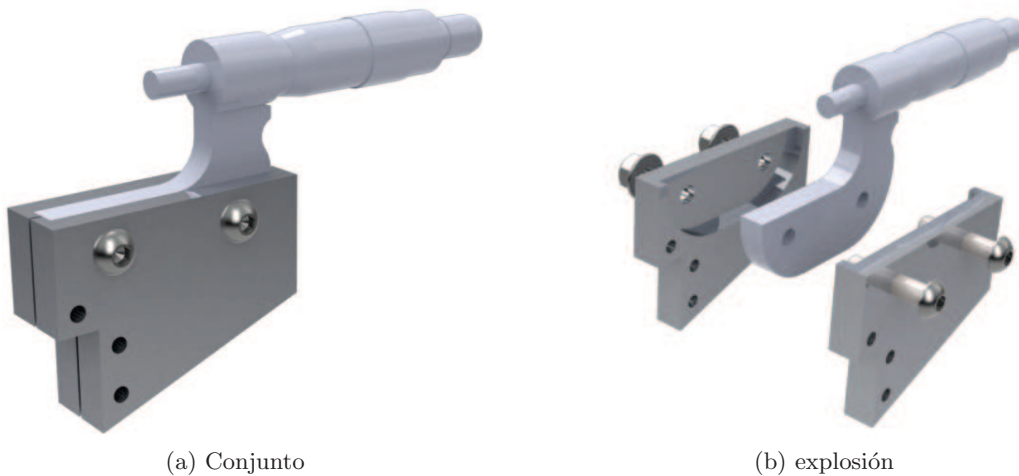


Figura 3.1.4: Conjunto sujeción micrómetro

Piezas (que componen el conjunto):

- Sujeción izquierda del micrómetro (figura 3.1.13).
- Sujeción derecha del micrómetro (figura 3.1.13).
- Micrómetro (figura 3.1.12).

3.1.1.2. Movimiento del micrómetro

Mediante este sistema, Fig. 3.1.14, conseguimos la transmisión de movimiento del micrómetro al cilindro neumático, con una precisión de $10\ \mu m$ o mejor.

Para tener un movimiento más rápido a la hora de posicionar la muestra, este conjunto dispone de una pieza roscada en su interior. Este movimiento rápido se consigue desenroscando la pieza. Si por el contrario lo que se desea es un movimiento más preciso, habría que enroscar el casquillo y nos daría la precisión de $10\ \mu m$ necesaria.

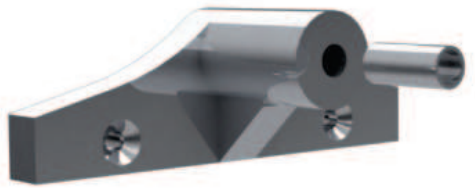


Figura 3.1.5: Conjunto movimiento micrómetro

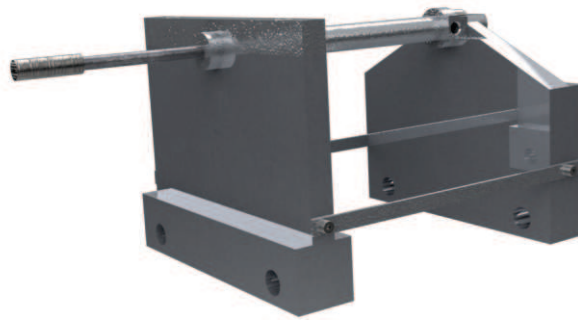
Piezas (que componen el conjunto):

- Acople casquillo (figura 3.1.14).
- Casquillo (figura 3.1.15)

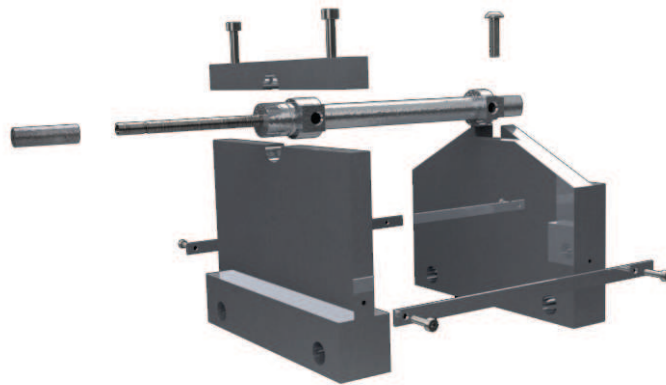
3.1.1.3. Sujeción del cilindro neumático

El conjunto que a continuación se muestra, sujeta el cilindro neumático y lo mantiene estable. Se han colocado dos pletinas espaciadoras las cuales hacen que se mantenga el paralelismo entre los soportes que sujetan el cilindro neumático.

Tiene unos agujeros por donde se insertan unas varillas calibradas que hacen de guía y permiten que se deslice el conjunto.



(a) conjunto



(b) Despiece

Figura 3.1.6: Sujeción cilindro neumático

Piezas (que componen el conjunto):

- Cilindro neumático (figura 3.1.16).
- Casquillo (figura 3.1.17).
- Soporte cilindro P1 (figura 3.1.18).
- Soporte cilindro P2 (figura 3.1.19b y 3.1.19a).
- Sujeción pieza-cilindro (figura 3.1.20).

3.1.1.4. Conjunto central

En el conjunto central se insertan todos los subconjuntos, como son el conjunto sujeción cilindro neumático (figura 3.1.6) y el conjunto sujeción micrómetro (figura 3.1.4).

En este conjunto, al llevar unas guías deja que se desplace por ellas el conjunto sujeción cilindro neumático.

La pieza soporte cola de milano I (figura 3.1.23) se une a la placa de sujeción (figura 3.1.21) y le permite un desplazamiento a través de la pieza.

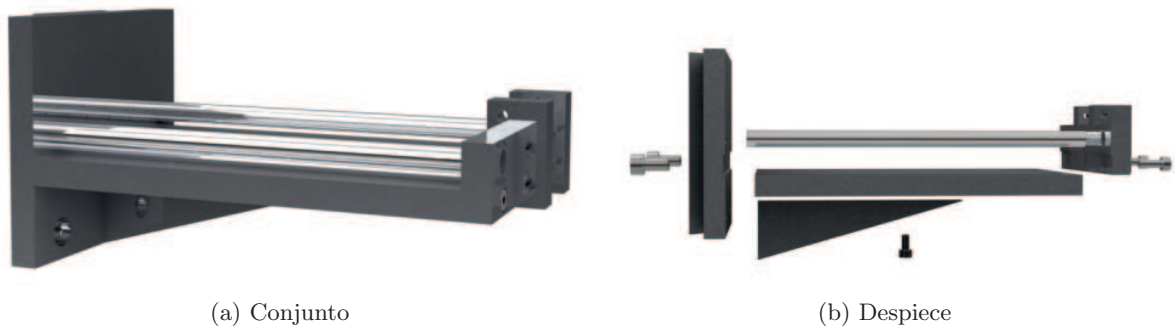


Figura 3.1.7: Conjunto central
La imagen muestra brillos de renderizado

Piezas:

- Placa de sujeción (figura 3.1.21).
- Pieza unión base-soporte micrómetro (figura 3.1.22).
- Soporte cola de milano (figura 3.1.23).
- Nervio (figura 3.1.24).
- Varillas (figura 3.1.25).

3.1.1.5. Conjunto inferior

Este conjunto inferior restringe el posicionamiento de la muestra en el eje “x” . Además, permite el deslizamiento de todo el conjunto superior en el eje “x” por medio de un ajuste en cola de milano. Este movimiento del conjunto superior permite un posicionamiento de la muestra mas cómodo, ya que tiene un tope en la parte delantera. Cuando se tenga que retirar la parte superior para colocar la varilla porta-muestras, con la muestra, por medio del tope posicionador, siempre quedará coaxial respecto a los carretes secundarios, carretes primarios y a la tapa, rápidamente. Dispone de un tornillo de sujeción o anclaje.

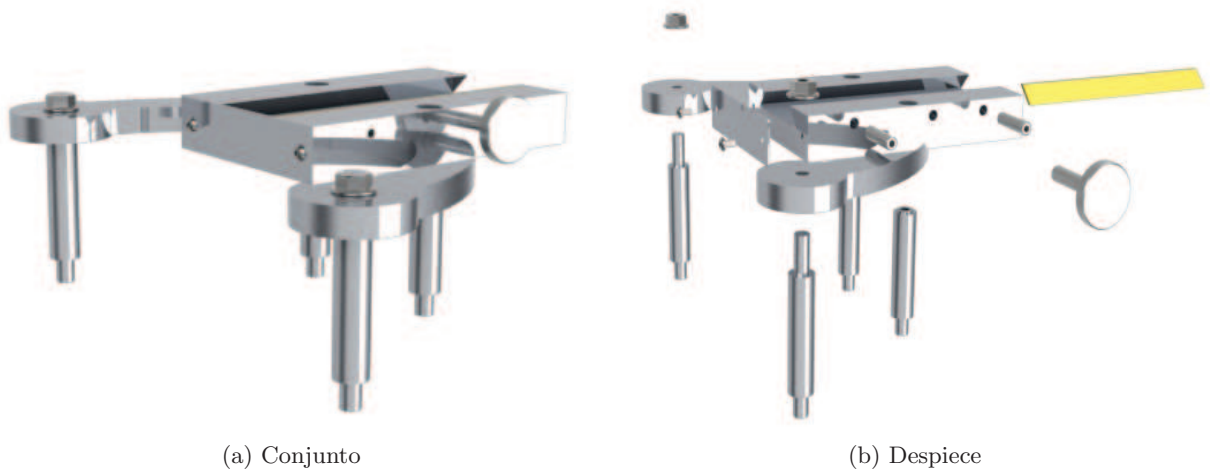


Figura 3.1.8: Conjunto Inferior

Piezas:

- Soporte cola de milano (hembra), (figura 3.1.26).
- Pletina para cola de milano (figura 3.1.27).
- Tope posicionador (figura 3.1.28).
- Barras espaciadoras I (figura 3.1.29a).
- Barras espaciadoras II (figura 3.1.29b).

3.1.1.6. Tapa

La tapa se ha diseñado teniendo en cuenta las restricciones de dimensionamiento requeridas por el vaso dewar. Ya que en la parte inferior de la tapa tiene unos rebajes para que la tapa no se pueda mover y quede sujeta. Para estar seguros de las dimensiones se ha realizado un prototipo a escala real. Con el objeto de evitar una posible rotura del vaso criogénico al realizar la sujeción firme entre tapa y el resto del sistema.

La tapa sujeta todo el mecanismo superior por medio de unos separadores (figuras 3.1.29b, 3.1.29a). También debe tener unos orificios para la entrada de nitrógeno líquido, salida del mismo y otros más para la salida de los cables. En la tapa también va insertada una caja estanca de conexiones.

Para la sujeción de la misma en los laterales de la tapa se colocaran unos cierre de palanca.



Figura 3.1.9: Tapa

3.1.1.7. Anillo de sujeción

La siguiente pieza sujeta la tapa, mediante unos cierres de tipo palanca. El dewar se inserta dentro del anillo de sujeción y le hace tope en la parte superior. De esta manera, por medio de los cierres anteriormente mencionados se sujeta firmemente con la tapa.

El anillo de sujeción también tiene unos agujeros en los cuales se insertan unas varillas roscadas de latón las cuales dan más rigidez y estabilidad a todo el mecanismo.

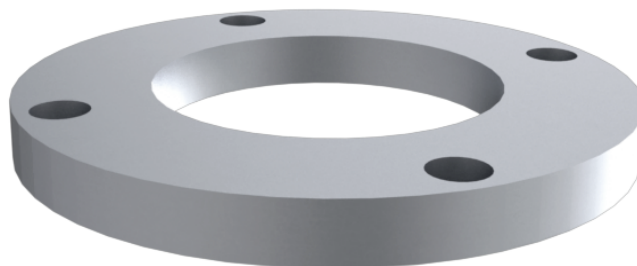


Figura 3.1.10: Anillo de sujeción

3.1.1.8. Soporte para el dewar

Para que el vaso dewar quede sujeto se ha diseñado un soporte para que todo sea uno, ya que en la parte superior se han colocado unas varillas que sujetan al anillo de sujeción (figura 3.1.10) y llegan hasta el soporte dewar, las cuales hacen que quede tanto el anillo de sujeción como el soporte paralelos entre sí. De esta manera, insertado el dewar en la ranura del soporte, quedan coaxiales todas las partes entre sí y unidas rígidamente.

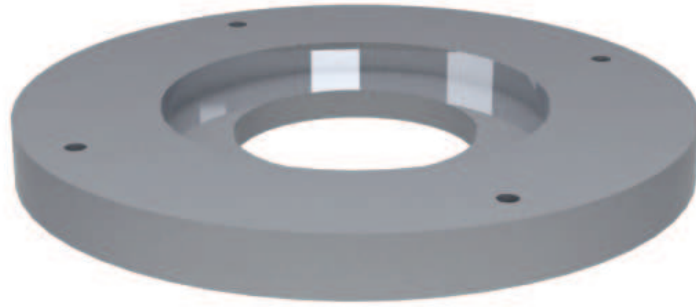


Figura 3.1.11: Soporte para dewar

3.1.2. Piezas

A continuación se describen de una forma mas detallada todas las piezas diseñadas.

3.1.2.1. Micrómetro

Para poder hacer uso de un micrómetro comercial como trasladador de precisión, se tuvo que modificar, cortándolo por la parte del yunque. Además también se rectificaron las caras del cuerpo ya que la superficie era irregular y tenían que ser lo mas paralelamente posible.



Figura 3.1.12: Micrómetro

3.1.2.2. Soporte del micrómetro

Se ha diseñado de tal manera que esta dividido en dos, para tener una mayor firmeza de sujeción al micrómetro y que a su vez se pueda sujetar a la pieza soporte-micrómetro (figura 3.1.22). Las caras interiores tienen que estar completamente paralelas entre sí, ya que entre sus caras irá insertado el cuerpo del micrómetro.

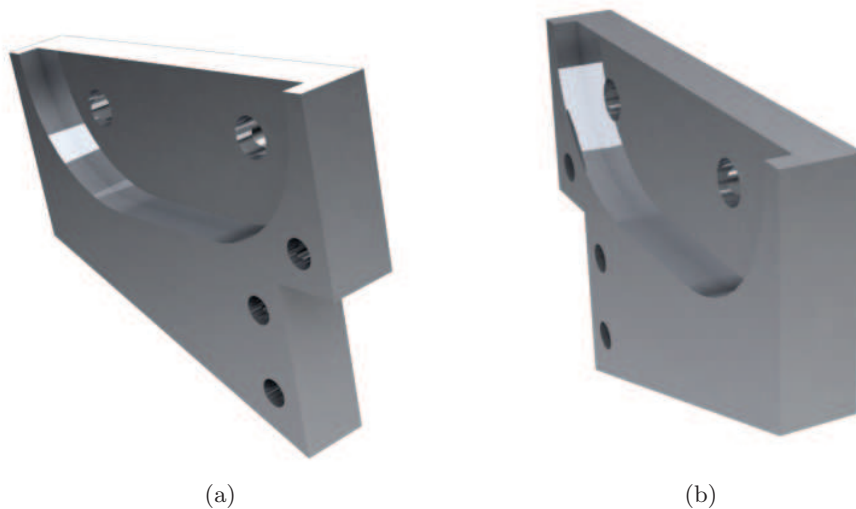


Figura 3.1.13: Soporte del micrómetro

3.1.2.3. Acople para el casquillo

Esta pieza es una de las más importantes del mecanismo, ya que sujeta el micrómetro y deja que se desplace axialmente. Lleva una rosca interior en la cual, se roscará un casquillo que le transmitirá un movimiento rotacional y lo transformará en el movimiento axial.



Figura 3.1.14: Acople casquillo

3.1.2.4. Casquillo del micrómetro

La siguiente pieza une el micrómetro con el acople casquillo (figura 3.1.14). Para una aproximación rápida se desenrosca del acople para casquillo, sí, por el contrario se desea una aproximación fina se enrosca.

El casquillo va unido rígidamente al husillo del micrómetro mediante un pegamento especial (epoxy).

También se pensó en haber hecho una rosca al husillo, pero lo mas probable es que el mecanismo interior del micrómetro se estropeará y perdiera la precisión requerida.



Figura 3.1.15: Casquillo del micrómetro

3.1.2.5. Cilindro neumático

Se ha seleccionado el cilindro modelo DSN-8-50-P de FESTO, por su calidad, dimensiones exteriores y de desplazamiento, cumpliendo los requisitos de sección. El cilindro va provisto de reguladores de presión, tanto en la entrada como en la salida. De este modo se logra un movimiento suave, a velocidad aproximadamente constante, y reproducible por un elevado numero de ciclos.



Figura 3.1.16: Cilindro neumático

3.1.2.6. Casquillo del vástago

La siguiente pieza une el cilindro neumático con la varilla portadora de la muestra. El casquillo lleva una rosca interior la cual se introduce en al vástago del cilindro, en el otro extremo tiene un agujero por donde se inserta la varilla portadora de la muestra, la cual va sujeta al casquillo mediante un pegamento especial para bajas temperaturas.

Cuando se quiera realizar otra medida con otra muestra, sólo se tendrá que desenroscar el casquillo del vástago, sacarlo y volver a introducir otra varilla con casquillo.



Figura 3.1.17: Casquillo del vástago

3.1.2.7. Soporte cilindro P1

La siguiente pieza (figura 3.1.18) tiene que cumplir una serie de requisitos:

- Sujetar el cilindro neumático.
- Deslizar el cilindro neumático por medio de guías.
- Desplazar el cilindro con una precisión de $10\ \mu m$.

Para que cumpla los requisitos anteriormente descritos se ha diseñado la pieza (figura 3.1.18). Como se puede observar, en la parte inferior lleva unos agujeros por donde se insertarán las guías y así le permitirá desplazarse. La pieza también tiene unos agujeros roscados en los laterales para colocar una barra espaciadora y atornillarla. Como se ha mencionado anteriormente, también se quería una desplazamiento de precisión, así que se han realizado unos orificios para poder sujetar la pieza, lo que hace que sea posible el movimiento (figura 3.1.14).

Para poder sujetar los conductos neumáticos y se puedan manipular correctamente se ha diseñado la parte superior con una forma “especial” de pirámide truncada de manera asimétrica por sus dos lados ya que si no fuese así, no cabrían las tuberías neumáticas, ni tampoco se podría sujetar el cilindro neumático.



Figura 3.1.18: Soporte cilindro P1.
La imagen muestra brillos de renderizado

3.1.2.8. Soporte del cilindro P2

La siguiente pieza tiene la misma utilidad que la pieza descrita anteriormente, salvo porque a ella no va unida el acople para el casquillo ni tiene la forma superior igual. Además para que el cilindro quede sujeto firmemente se ha diseñado una pieza que se inserta en los orificios roscados.

3.1.2.9. Sujeción cilindro P2

Para mantener el cilindro mientras trabaja sujeto firmemente a su soporte, se ha diseñado una pieza con forma de yunque y orificio cilíndrico, que aprisiona el cilindro neumático sobre su soporte (figura 3.1.19b) que cumpla con la función (figura 3.1.19a)



(a) Sujeción cilindro P2



(b) Soporte cilindro P2

Figura 3.1.19

3.1.2.10. Sujeciones pieza-cilindro

Para que las piezas soporte cilindro P1 (figura 3.1.18) y soporte cilindro P2 (figura 3.1.19b) queden paralelas una con otra se ha pensado en colocar una pieza para poder mantener el paralelismo, de esta manera se pueden desplazar libremente a través de las guías (figura 3.1.25).



Figura 3.1.20: Sujeciones pieza-cilindro

3.1.2.11. Placa de sujeción

La pieza representada es una de las mas importantes, ya que a ella se le inserta todo el mecanismo superior. Lleva unos agujeros en la parte delantera en donde se sujetará la pieza soporte en cola de milano macho (figura 3.1.23), en la parte superior lleva otro orificio donde se sujetara el nervio (figura 3.1.24) y en la parte trasera (no se ve) lleva tres agujeros donde se sujetara la pieza unión base-soporte micrómetro (figura 3.1.22).



Figura 3.1.21: Placa de sujeción

3.1.2.12. Unión base-soporte micrómetro

Para que el conjunto sujeción micrómetro (3.1.4), tenga una sujeción fija y estable se ha diseñado la siguiente pieza (figura 3.1.22), la cual hace que se posicione correctamente.



Figura 3.1.22: Unión base-soporte micrómetro.
La imagen muestra reflejos de la propia pieza en otra parte lisa de la misma.

3.1.2.13. Soporte en cola de milano (macho)

El soporte macho (figura 3.1.23) como se puede observar, tiene una ranura en la parte superior para que case la placa de sujeción (figura 3.1.21) y restrinja el movimiento. Dentro de la ranura tiene unos agujeros pasantes donde se colocan los tornillos correspondientes para anclar la pieza.

En esta pieza también tiene unos agujeros ciegos donde se insertarán las varillas guía para el desplazamiento de los soportes del cilindro neumático.

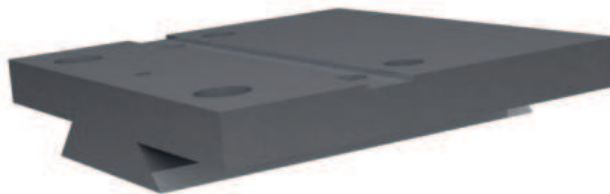


Figura 3.1.23: Soporte cola de milano (macho)

3.1.2.14. Nervio

Se va a colocar un nervio de tal manera que evite el momento flector que se produce.



Figura 3.1.24: Nervio

3.1.2.15. Varilla

La varilla que se va a colocar es de acero inoxidable calibrada con una tolerancia h9 ya que su misión es la de guiar al mecanismo que sujeta el cilindro neumático (figura 4.25).



Figura 3.1.25: varilla

3.1.2.16. Soporte en cola de milano (hembra)

La siguiente pieza tiene que cumplir una serie de requerimientos.

1. El centro de gravedad de los mecanismos superiores que apoyan sobre ella debe estar en la misma vertical que el de esta pieza, en la posición de trabajo (muestra en los carretes detectores).
2. Movimiento sobre el soporte en el eje “x”.
3. Enclavamiento de los mecanismos superiores cuando esta en la posición.

Como se quería un desplazamiento transversal para posicionar la muestra, se diseñó una pieza de tal manera que cumpliera con este requisito fundamental.

Tiene una guía en forma de cola de milano, la cual hace que con un solo movimiento se pueda retirar y colocar en su posición final, además tiene unos agujeros a lo largo de la pieza que permiten bloquearla y así restringir el movimiento.



Figura 3.1.26: Soporte cola de milano (hembra)

3.1.2.17. Pletina para la cola de milano

La pieza descrita a continuación, hace que con el uso de las guías en forma de cola de milano, se desgaste la pletina, y como es de un material blando, solo se estropea la pieza descrita. También tiene otra función, fija la parte interior transmitiendo la presión ejercida en ella mediante unos prisioneros y de esta manera la guía macho no puede moverse.



Figura 3.1.27: Pletina para cola de milano

3.1.2.18. Posicionador

Para que el mecanismo superior pueda mover libremente para cambiar la muestra y luego se coloque en la posición de trabajo o de medida, coaxial con el agujero de la tapa, se ha diseñado un posicionador, el cual hace que siempre se coloque en el mismo sitio.

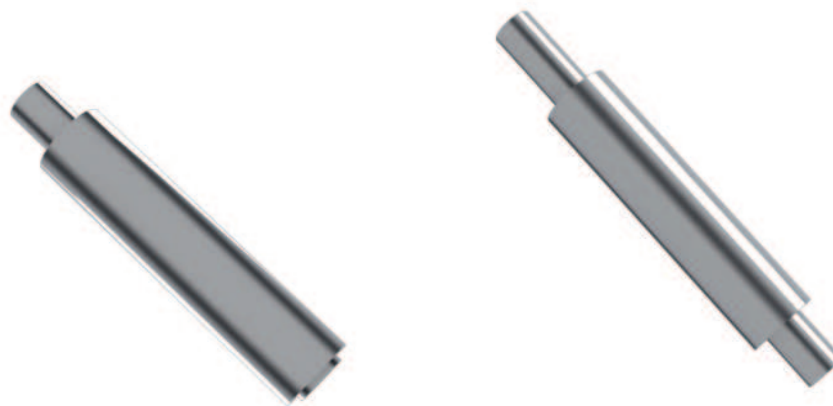


Figura 3.1.28: Posicionador

3.1.2.19. Separadores con rosca interior y exterior, trasero y delantero

Para que el cilindro neumático pueda realizar toda la carrera se han diseñado unos separadores para poder salvar la distancia del vástago. Además, por su longitud, tiene el espacio suficiente para poder insertar la mano sin problemas entre la tapa (figura 3.1.9) y el soporte de cola de milano hembra (figura 3.1.26), para manipular con facilidad el intercambio de la muestra.

Esa separación es adecuada también para insertar una caja de conexiones para conectar los cables e incluso la etapa de preamplificador (si cupiera).



(a) Separador con rosca interior

(b) Separador delantero

Figura 3.1.29: Separadores

3.2. Sistema inferior

El sistema de detección (medición) de la susceptibilidad magnética de una muestra está basado en la inducción mutua entre un conjunto de bobinas primarias y secundarias.

En ausencia de muestra, el sistema compensado de bobinas secundarias da una tensión eléctrica (fem inducida) nula. La inserción de la muestra en el interior de uno de los carretes secundarios descompensa el sistema y se induce una fem proporcional al momento magnético adquirido por la muestra.

la sensibilidad del sistema depende del acoplamiento magnético entre los sistemas primario y secundario. Este acoplamiento se maximiza cuando los sistemas (formados habitualmente por bobinas de geometría cilíndrica) se sitúan coaxialmente entre sí y el secundario en el interior del primario. [9, 10]

3.2.1. Esquema de los carretes

A continuación se muestra un esquema de cómo se colocan los carretes, tanto primarios como secundarios.¹

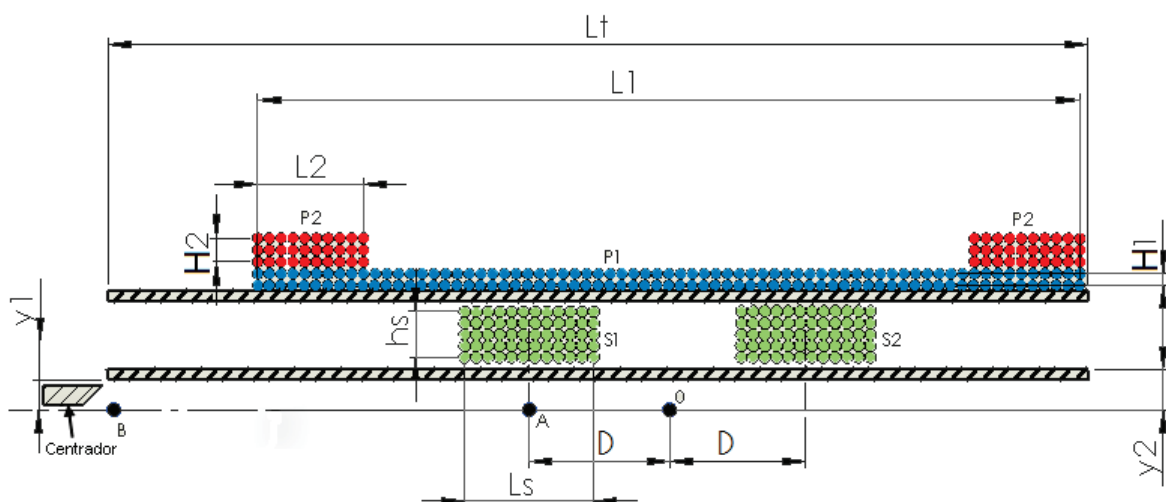


Figura 3.2.1: Esquema de los carretes

S1: Secundario principal.

S2: Secundario compensador.

P1: Primario principal.

P2: Primario uniformizador.

O: Centro de simetría.

A: Posición de medida.

B: Posición de fondo (*background*).

¹Las cotas son dependientes de la geometría de los carretes primarios y secundarios.

3.2.1.1. Carretes secundarios

El soporte rígido en el que van bobinados los carretes secundarios, se ilustra en la figura 3.2.2. También es por donde se introduce la muestra, por el espacio vano del tubo cilíndrico interior que permite la inserción de muestra de diámetro ≤ 6 milímetros. Además tiene un espaciador entre el carrete secundario principal y el carrete secundario compensador para dejar los centros de los carretes a distancia $2D$, de la figura (3.2.1).

En la parte interna (por donde se inserta la muestra) tiene diseñado un centrador el cual mantiene la muestra lo mas coaxialmente posible.

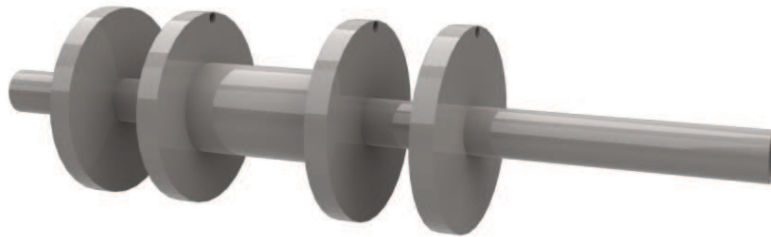


Figura 3.2.2: Carretes secundarios

3.2.1.2. Separador

Se trata de un tubo cilíndrico sobre el que se enrolla el primario. Permite además poner sobre él, por debajo del arrollamiento primario, una pantalla electrostática, para minimizar el acoplamiento capacitivo entre el primario y el secundario [9] .

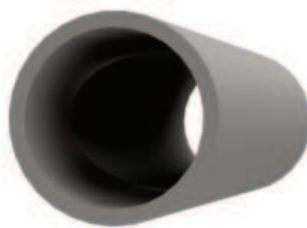


Figura 3.2.3: Separador

3.2.1.3. Separadores de los carretes primarios

Los separadores de los carretes primarios tienen varias funciones :

1. Mantener compacto todo el bloque de carretes primarios, tanto principal como uniformizador.
2. Mantener coaxial todas las piezas insertadas en su interior.
3. Sujetar todas las piezas que tiene en su interior con el vaso dewar.

El diseño de los anillos es parecido entre sí, ya que los dos tienen una ranura para poder colocar una junta tórica y así no dañar el dewar, también tiene una serie de micro-agujeros para poder dejar escapar el vapor de nitrógeno mas uniformemente sin que aumente la presión. La una diferencia que existe es que el anillo que se coloca en la parte inferior, tiene una forma cóncava y de esta manera facilita la salida del gas.

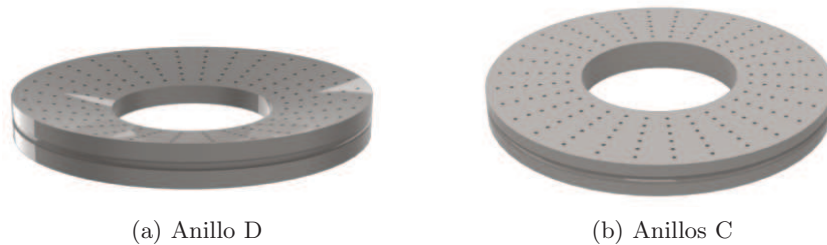


Figura 3.2.4: Anillos

3.3. Sistema neumático

Para que la muestra tenga siempre el mismo desplazamiento, se ha diseñado un circuito neumático básico. Consta de un actuador, cilindro de doble efecto, con dos válvulas reguladoras de caudal, un antirretorno en la entrada otro en la salida de aire para obtener una regulación independiente y proporcional a la velocidad de avance y de retroceso. Una electroválvula biestable 5/2 para controlar la dirección de circulación del aire con silenciadores en los escapes. Se alimenta con por una tensión dc de 5V, que se obtiene de la salida auxiliar del amplificador *lock-in*. El circuito neumático esta diseñado para trabajar a una presión de 6 bar con un caudal mínimo de 90 l/min

En la figura 3.3.1 se muestra el esquema del circuito neumático:

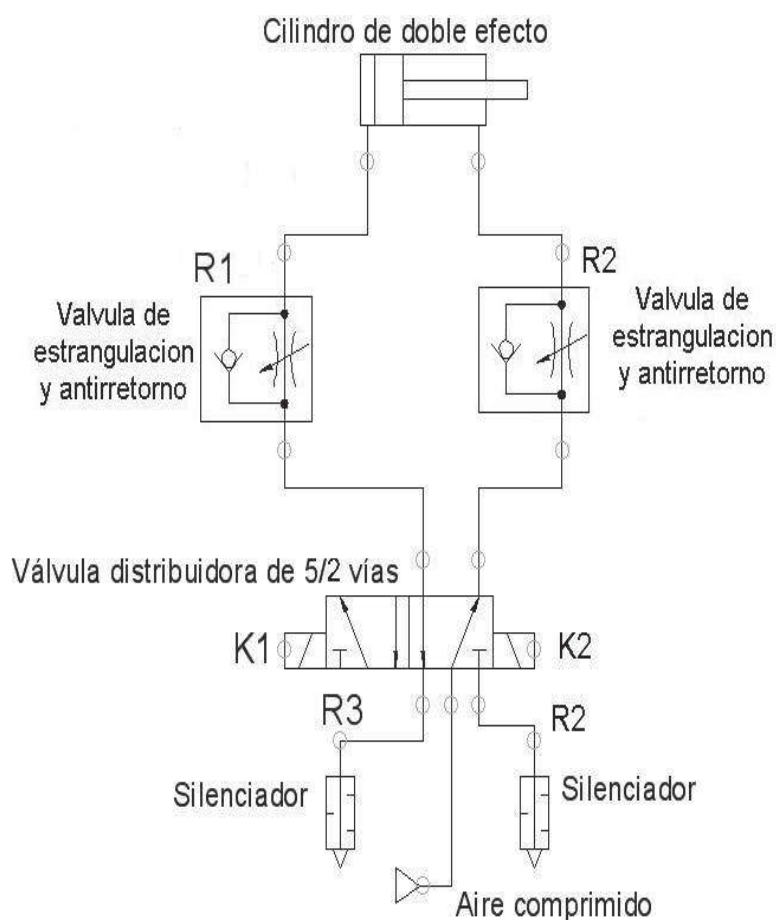


Figura 3.3.1: Circuito neumático

3.4. Sujeción

Para que el dewar esté cerrado y sujeto entre la tapa (figura 3.1.9) y el anillo de sujeción (figura 3.1.10) se ha colocado un cierre de tipo palanca. De esta manera queda compacto, rígidamente unidas entre sí todas sus partes, de manera que el ruido acústico o las excitaciones por vibraciones mecánicas afecten a todos los componentes del sistema por igual, minimizando con ello el posible ruido eléctrico en el sistema de detección que se producirá si unas partes (metálicas) se movieran respecto a otras, rompiendo la simetría cilíndrica del sistema completo.



Figura 3.4.1: Cierre tipo palanca

3.5. Vibraciones

Para evitar las posibles vibraciones producidas mientras el funcionamiento, se han colocado unos *silentblocks* en la base donde se apoyará el dewar.

Los silentblocks modelo RADIAFLEX están fabricados de caucho especial antivibratorio resistente a los aceites y combustibles, conservando las excelentes características mecánicas del caucho natural NR, y la resistencia a los aceites y combustibles del nitrilo NBR.

Propiedades:

- Trabajo del elastómero en compresión (axial).
- Trabajo del elastómero en cizallamiento (radial).



Figura 3.5.1: Silentblock

3.6. Conjunto completo

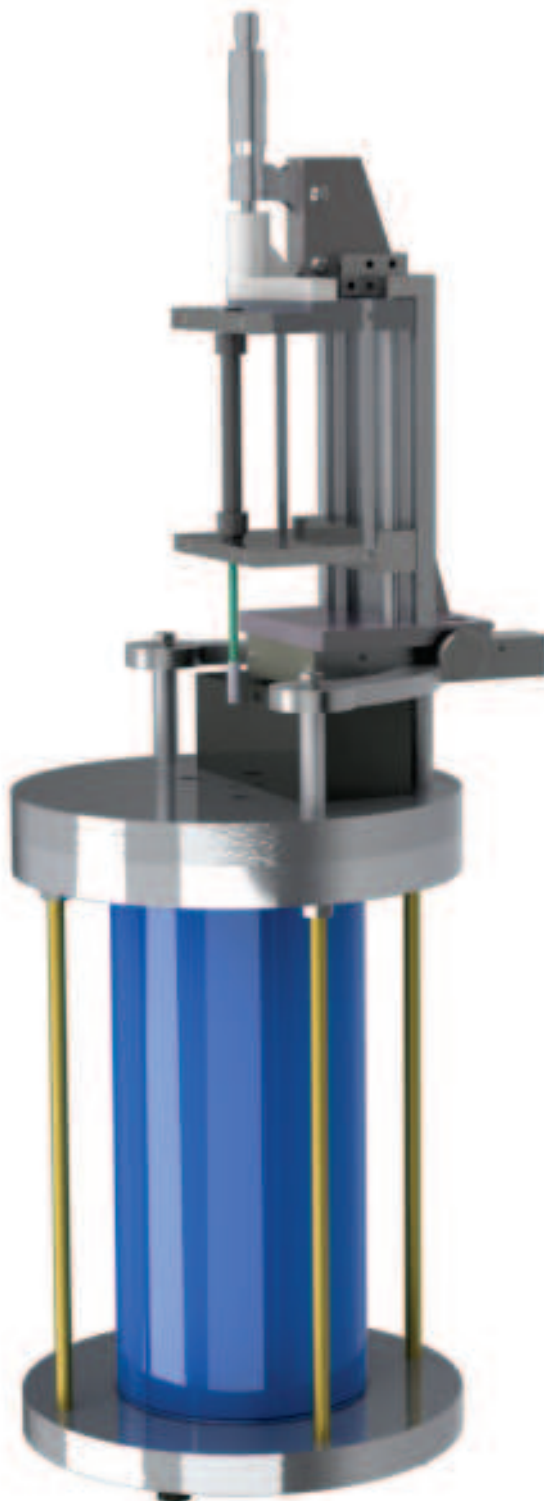


Figura 3.6.1: Conjunto completo

3.6.1. Conjunto completo con nomenclatura

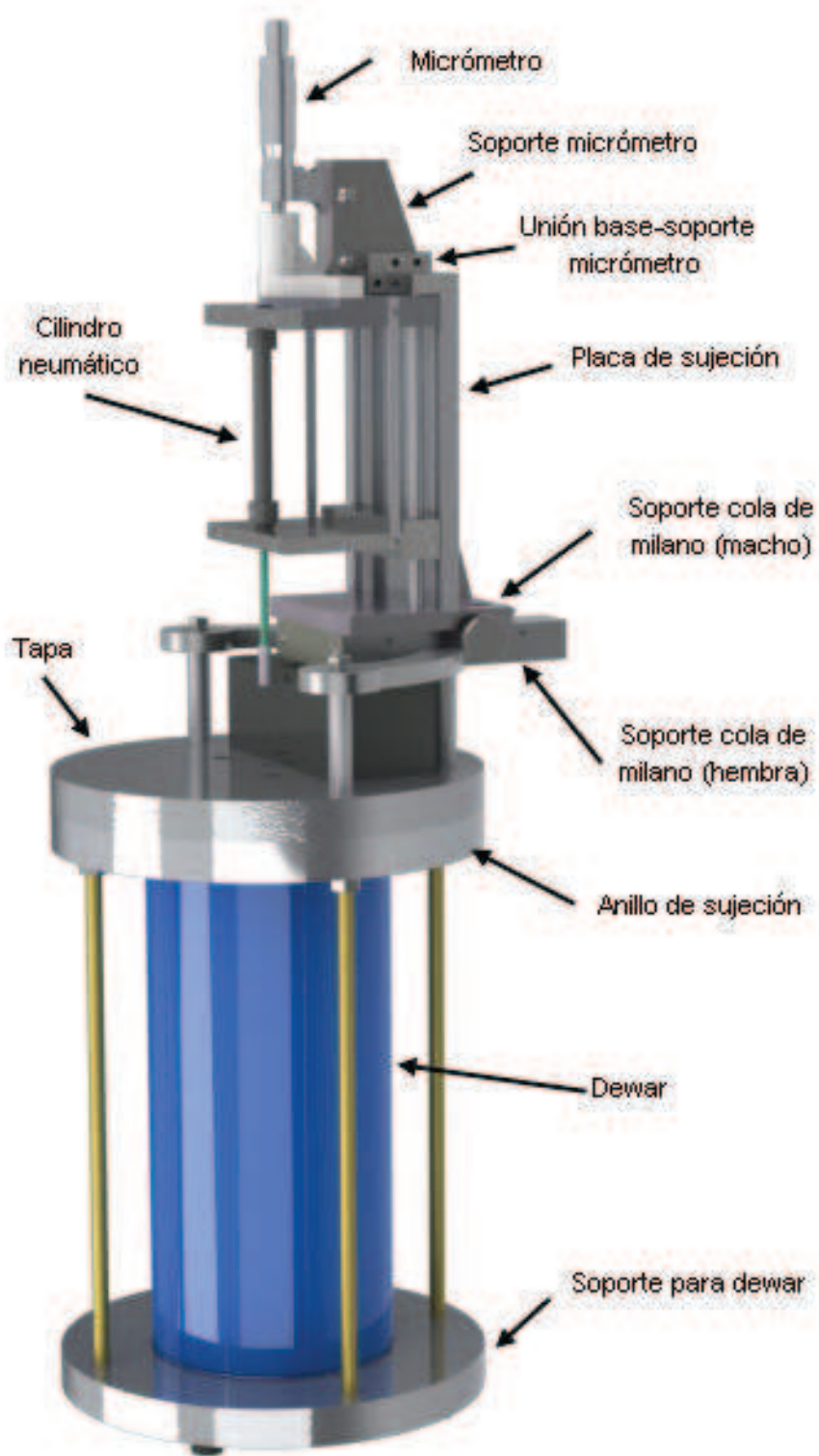


Figura 3.6.2: Conjunto completo con nombres

3.6.2. Conjunto completo con numeración de planos

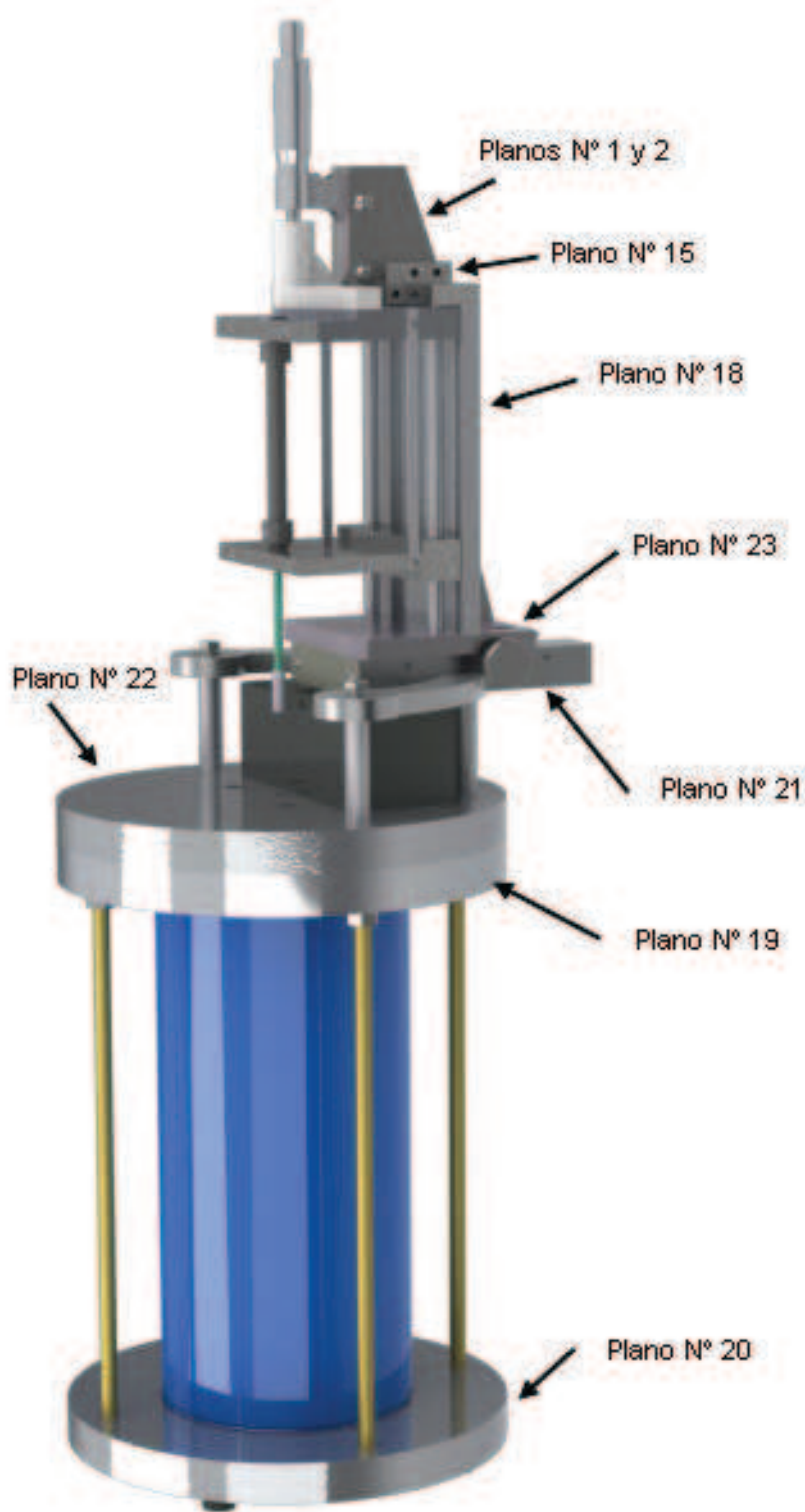


Figura 3.6.3: Conjunto completo con numero de planos

3.7. Presupuesto

Numero	Unidades	Elemento	Euros
1	1	Cilindro neumático modelo DSN-8-50-P de FESTO	33
2	1	Electrovalvula 5/2 vías VUVG de FESTO	64
3	2	Conector tipo zócalo con cable	19
4	4	Silenciadores de FESTO	18
5	4	Silentblocks	5
6	1m	Varilla calibrada de ø8mm	10
7	2m	Varilla roscada de latón de M8	12
8	4	Casquillos de ø8 interior y ø12 exterior	20
9	2	Barras de aluminio de ø12	20
10	1	Placa de aluminio de 200x300x10 mm	300
11	1	Placa de aluminio de 200x200x20 mm	300
12	1	Micrómetro Kalkum Ezquerria 0-25mm	18
13		Tornillería	40
14	8	Tuercas M8 de latón	
15	10	Tuercas M6 de latón o inoxidable	
16	5	Tuercas M5 de latón o inoxidable	
17	5	Tuercas M4 de latón o inoxidable	
18	5	Tuercas M3 de latón o inoxidable	
19	10	Tornillos M8 de cabeza allen inoxidable	
20	10	Tornillos M6 de cabeza allen inoxidable	
21	6	Tornillos M5 de cabeza allen inoxidable	
22	5	Tornillos M4 de cabeza allen inoxidable	
23	8	Tornillos M3 de cabeza allen inoxidable	
24	6	Tornillos M2 de cabeza allen inoxidable	
25	3	Tornillos M6 de cabeza gota de sebo inoxidable	
26	3	Tornillos M5 de cabeza gota de sebo inoxidable	
27	3	Cierres de palanca	15
28	1	tubo de PVC	20

TOTAL	894 €
-------	-------

Descripción	Maquinaria	Tasa horaria	Horas trabajadas	Coste máquina
Pieza según plano N°1	Fresadora	30	2	60
Pieza según plano N°2	Fresadora	30	2	60
Pieza según plano N°3	Torno	30	0.5	15
Pieza según plano N°4	Fresadora	30	1	30
Pieza según plano N°5	Torno	30	1	30
Pieza según plano N°9	CNC	40	3	120
Pieza según plano N°10	CNC	40	4	160
Pieza según plano N°12	CNC	40	2	80
Pieza según plano N°13	Torno	30	2	60
Pieza según plano N°14	Torno	30	2	60
Pieza según plano N°15	CNC	40	3	180
	Rectificadora	30	2	
Pieza según plano N°17	Rectificadora	30	1	30
Pieza según plano N°18	CNC	40	2	140
	Rectificadora	30	2	
Pieza según plano N°19	Torno	30	2	140
	CNC	40	2	
Pieza según plano N°20	Torno	30	2	140
	CNC	40	2	
Pieza según plano N°21	CNC	40	4	220
	Rectificadora	30	2	
Pieza según plano N°22	CNC	40	6	300
	Rectificadora	30	2	
Pieza según plano N°23	Fresadora	30	2	60

TOTAL	53.5 Horas	1885 €
-------	------------	--------

TOTAL — 2779 €

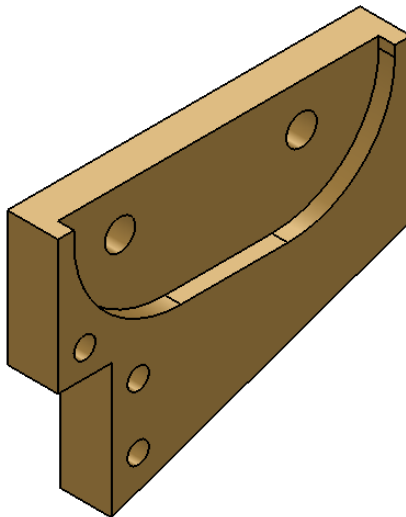
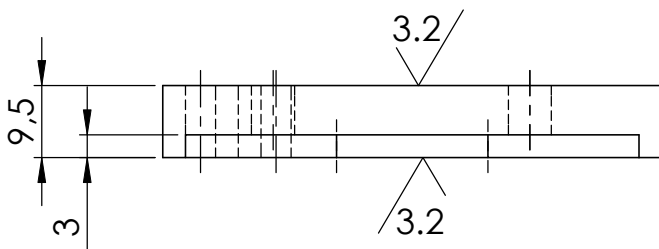
Bibliografía

- [1] *Physics of magnetism*. S. Chikazumi, S.H. Charap. John Wiley & Sons, 1964.
- [2] *Introduction to magnetic materials*. B.D. Cullity. Addison-Wesley, 1972.
- [3] *Temas de física III: electromagnetismo*. Salvador Velayos Hermida.
- [4] *The theory of magnetism made simple*. D.C. Mattis. World Scientific Publishing, 2006.
- [5] *Rare earth iron permanent magnets*. Editado por J.M.D. Coey. Oxford, 1996.
- [6] Ana J. Lecumberri Navascués. *Magnetómetro de gradiente alterno de campo*. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Técnica Industrial, 2011. ETSIIT - UPNa - Tudela.
- [7] Véase por ejemplo, la página de wikipedia en español: http://es.wikipedia.org/wiki/Microscopio_de_fuerza_atomica o la página en inglés, más específica, http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_force_microscope
- [8] Iñaki Iturri Iragui. *Magnetómetro de muestra vibrante*. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial, 2005. ETSIIT - UPNa - Arrosadía.
- [9] C.P. Bidinosti and W.N. Hardy. *High precision ac susceptometer for measuring the temperature and magnetic field dependence of the penetration depth in superconductor single crystals*. Rev. Sci. Instrum., **71** (2000), 3816-3821
- [10] V. Ström. *Integral and local AC-susceptibility*. Tech.D. Thesis, Royal Institute of Technology (KTH), 1999.
- [11] Version Lyx 2.0.4, para el procesamiento del texto.
- [12] Solid Works (dassault systemes), para el diseño de las piezas 3D, realización de planos, cálculo de centro de masas y ensamblajes.
- [13] Acrobat, PDF
- [14] PhotoView (dassault systemes), para el renderizado de las piezas.
- [15] Adobe Photoshop CS4, para la modificación de las piezas.
- [16] FluidDraw 5 (Festo), para la realización del circuito neumático.
- [17] Pdftsam, para el ensamblaje de pdf.


Capítulo 4

Anexo I (Planos)

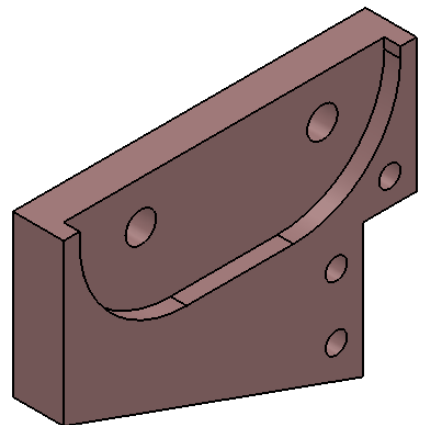
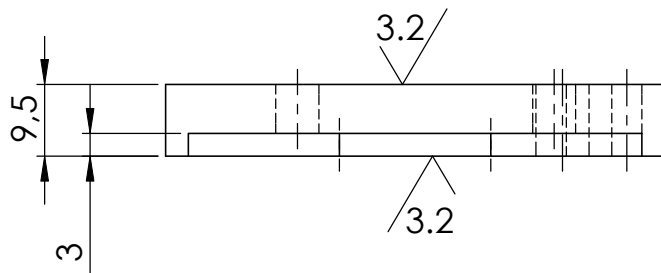
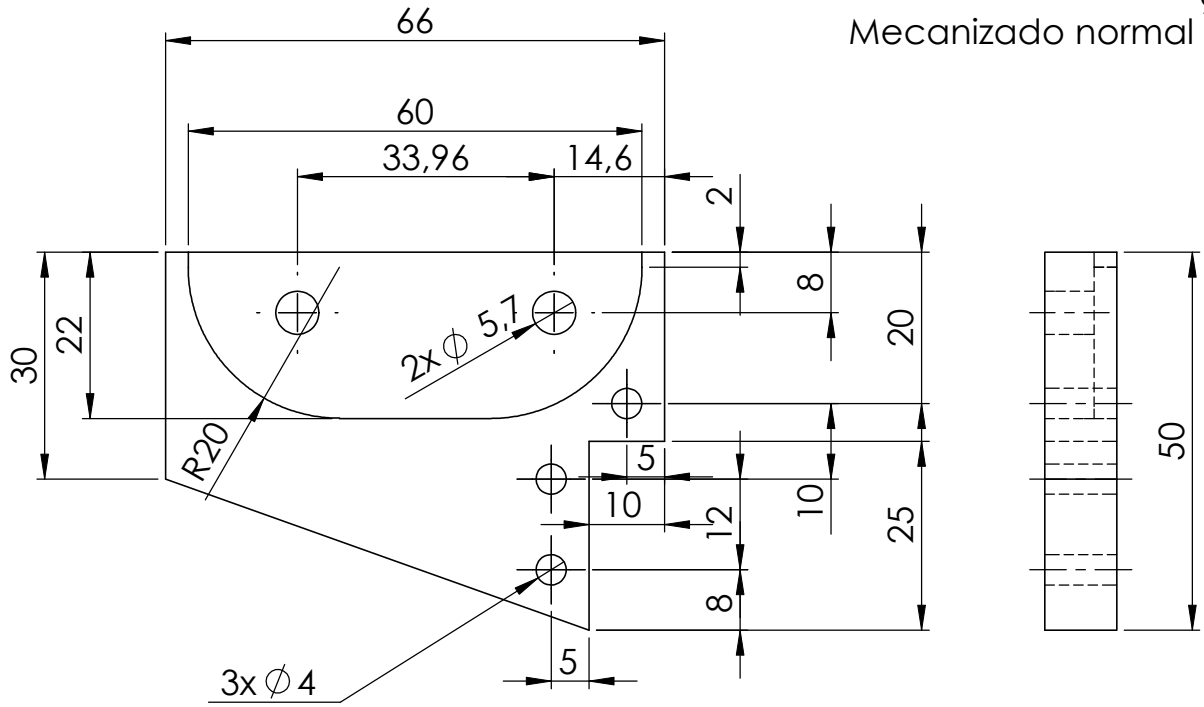
Mecanizado normal 3.2




Salvo indicacion contraria cotas en milímetros, angulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

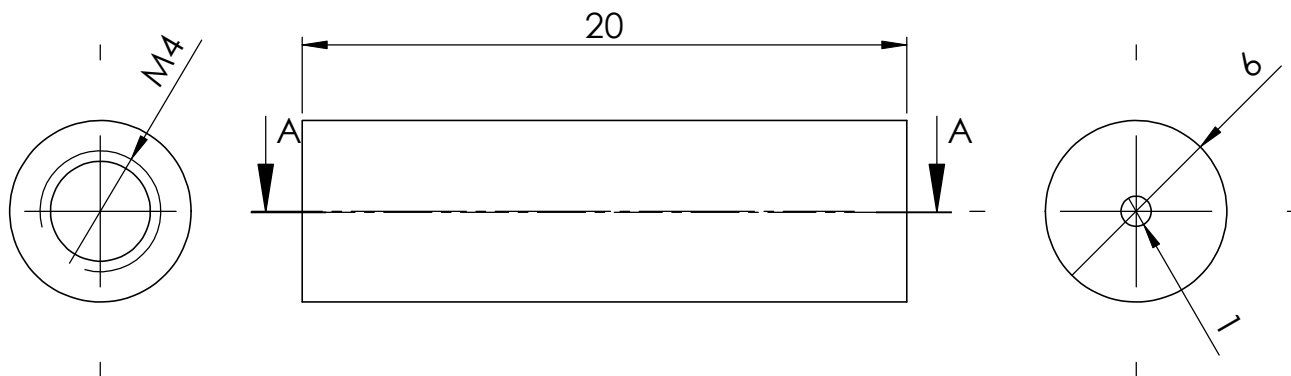
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO: <h1>SUSCEPTOMETRO AC</h1>			REALIZADO:	
			CARLOS ALAVA ALAVA	
PLANO: SUJECCION MICROMETRO DERECHO			FIRMA:	
			Nº PIEZAS: 1	
			FECHA:	ESCALA:
			15/10/2012	1:1
			Nº PLANO: 1	

Mecanizado normal

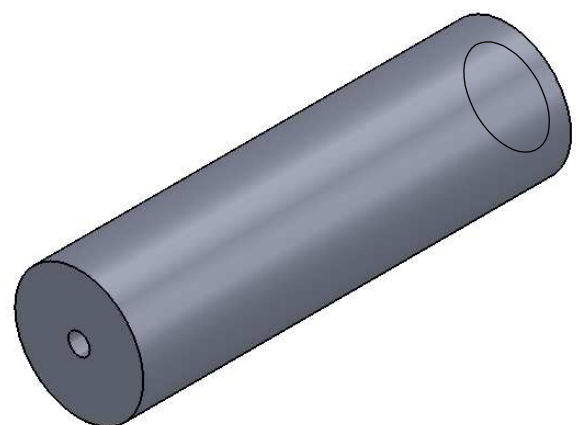
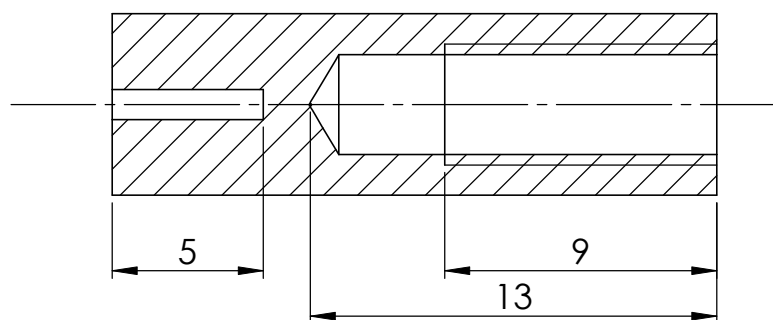


Salvo indicacion contraria cotas en milímetros, angulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°


 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO: <div>SUSCEPTOMETRO AC</div>			REALIZADO:	
			CARLOS ALAVA ALAVA	
PLANO: <div>SOPORTE MICROMETRO IZQUIERDO</div>			FIRMA:	
			Nº PIEZAS: 1	
			FECHA:	
			15/10/2012	
			ESCALA:	
			1:1	
			Nº PLANO:	
			2	

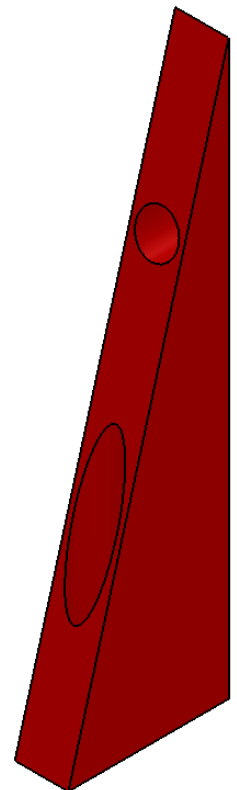
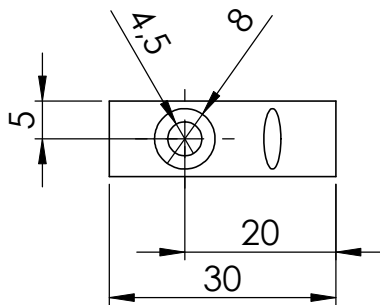
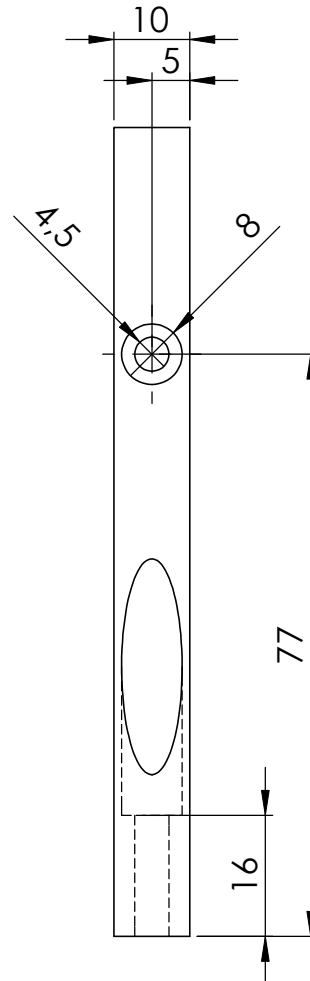
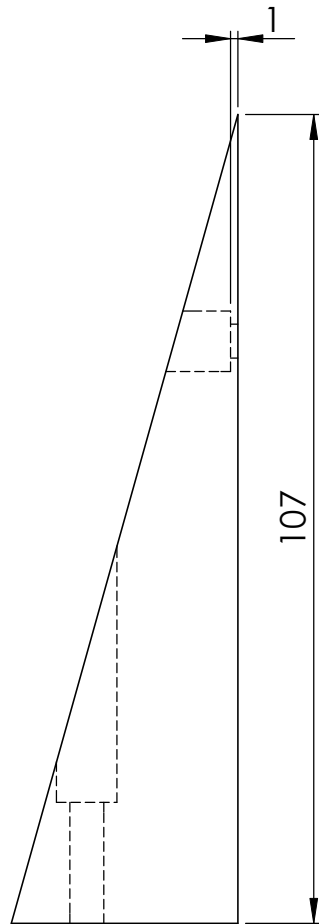


SECCIÓN A-A
ESCALA 4 : 1




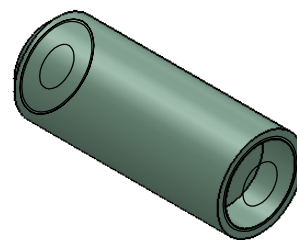
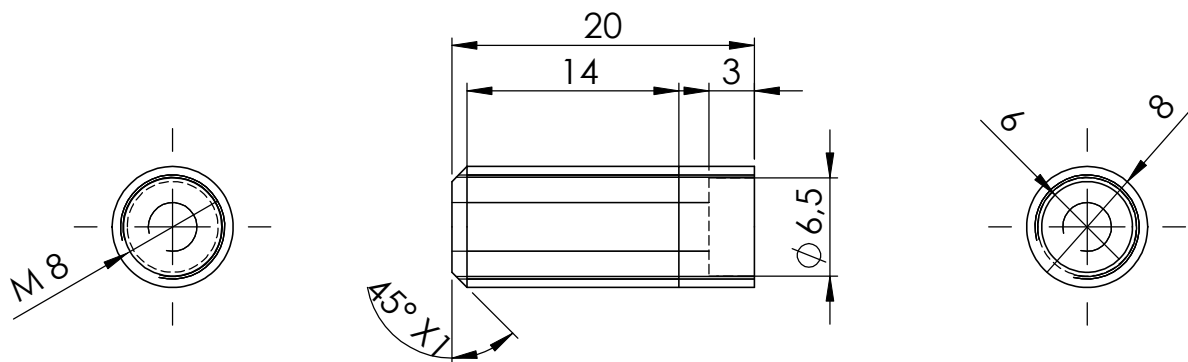
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias $\pm 0.1\text{mm}$ y 0.5°

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.				
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC			REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
			FIRMA: Nº PIEZAS: 1		
PLANO: CASQUILLO CILINDRO			FECHA: 10/11/2012	ESCALA: 4:1	Nº PLANO: 3




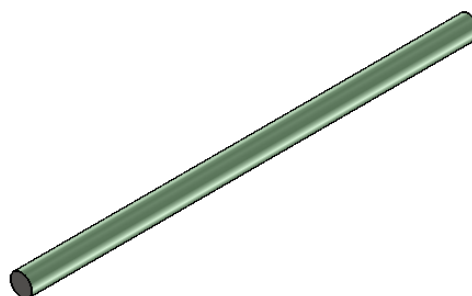
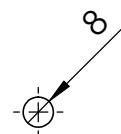
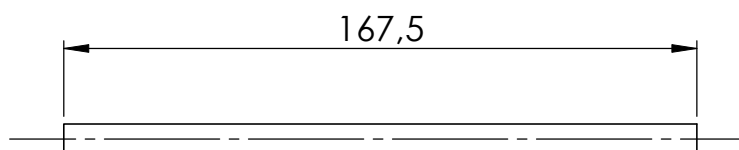
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias $\pm 0.1\text{mm}$ y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:			
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA			
PROYECTO:			REALIZADO:			
SUSCEPTOMETRO AC			CARLOS ALAVA ALAVA			
			FIRMA:	Nº PIEZAS: 1		
PLANO:			FECHA:	ESCALA:		
NERVIO			10/11/2012	1:1		
			Nº PLANO:	4		




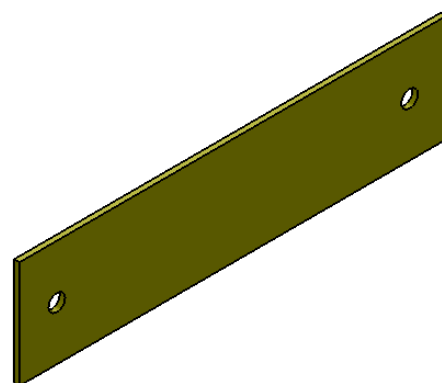
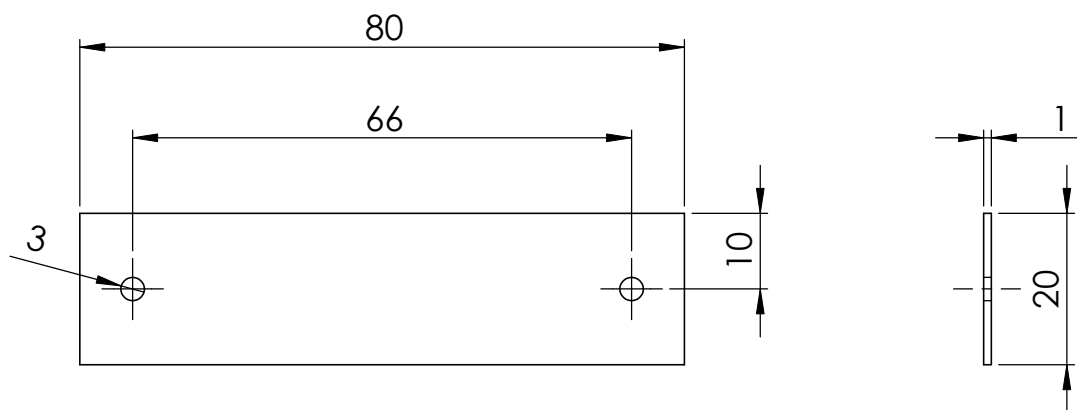
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO: <h1>SUSCEPTOMETRO AC</h1>			REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA
PLANO: CASQUILLO			FIRMA: Nº PIEZAS: 1 FECHA: 10/11/2012 Nº PLANO: 5 ESCALA: 2:1




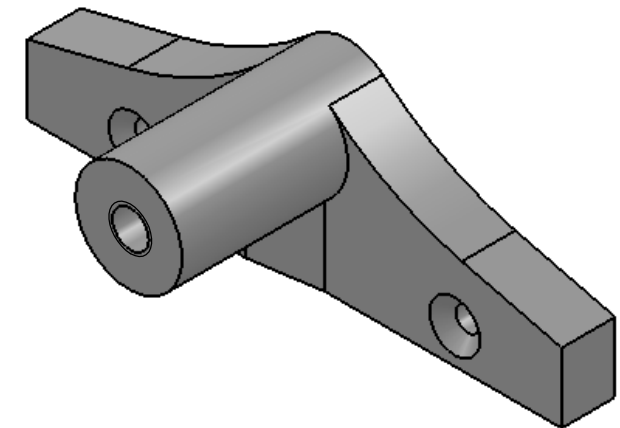
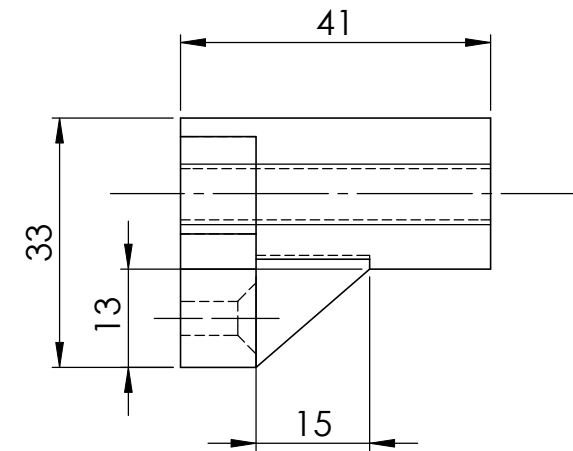
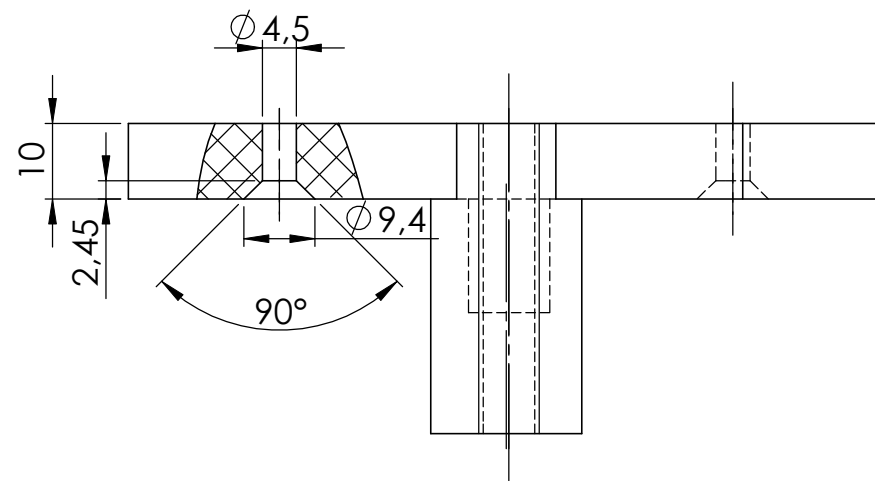
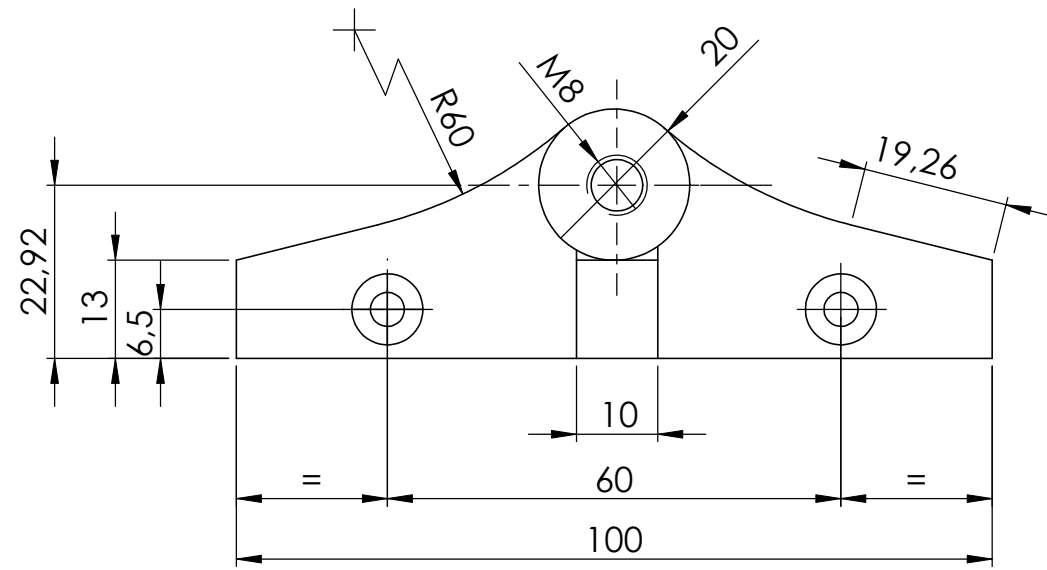
Salvo indicacion contraria cotas en milímetros, angulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC			REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
			FIRMA: Nº PIEZAS: 2	
PLANO: VARILLA GUIA			FECHA: 10/11/2012	Nº PLANO: 6
			ESCALA: 1:2	




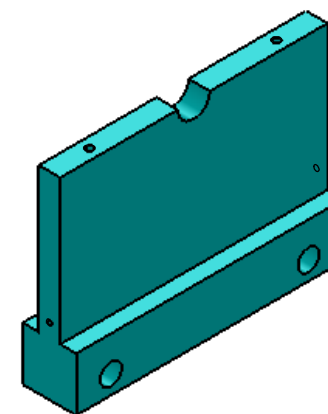
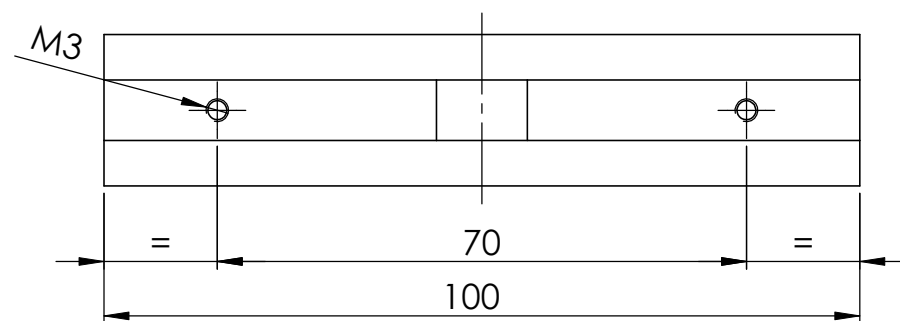
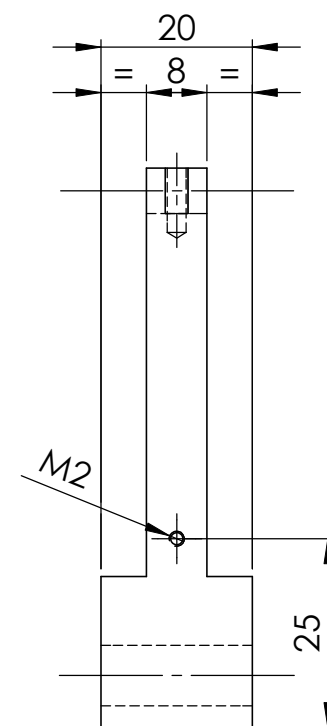
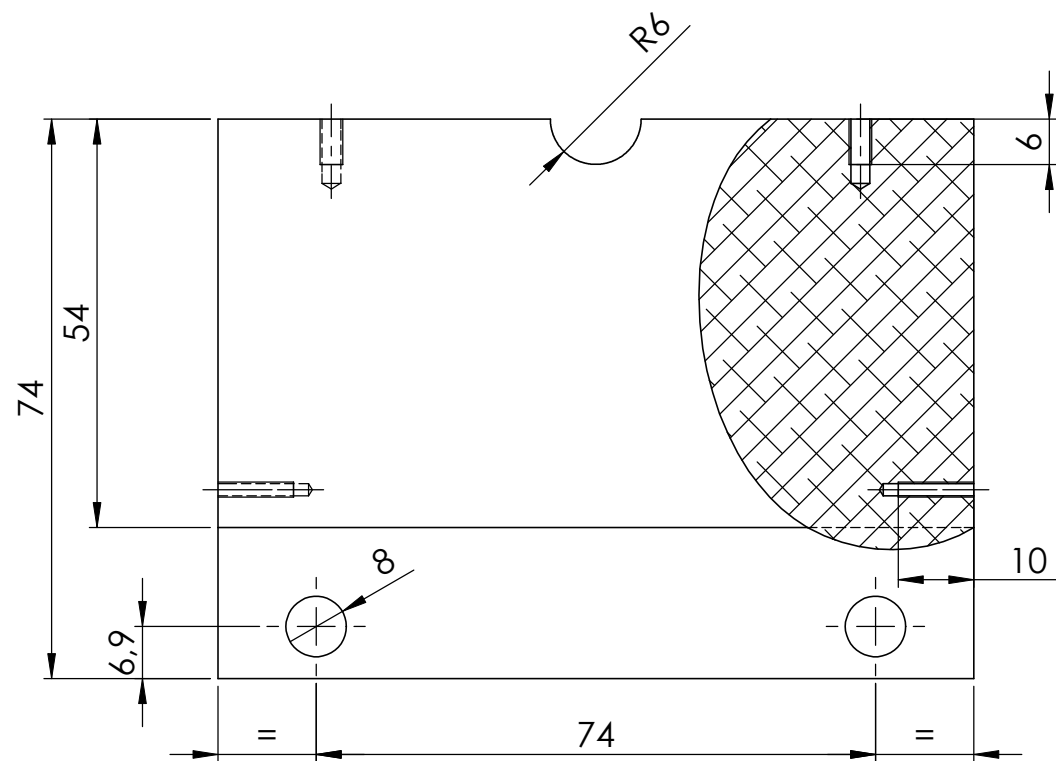
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias $\pm 0.1\text{mm}$ y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE FISICA	
PROYECTO:		REALIZADO:	
<h1>SUSCEPTOMETRO AC</h1>		CARLOS ALAVA ALAVA	
		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO:	TOPE POSICIONADOR	FECHA:	ESCALA:
		10/11/2012	1:1
		Nº PLANO:	7



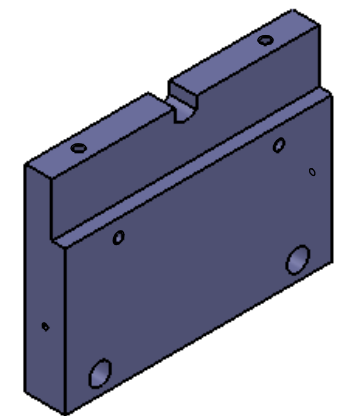
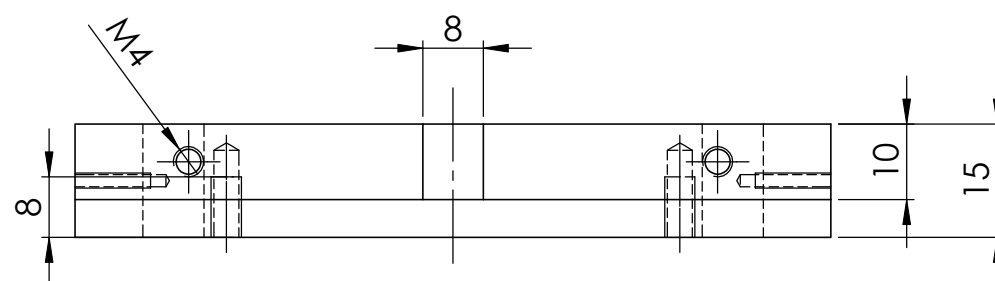
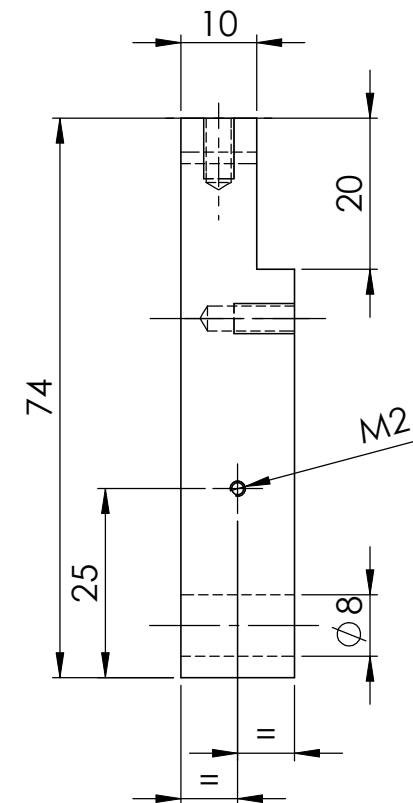
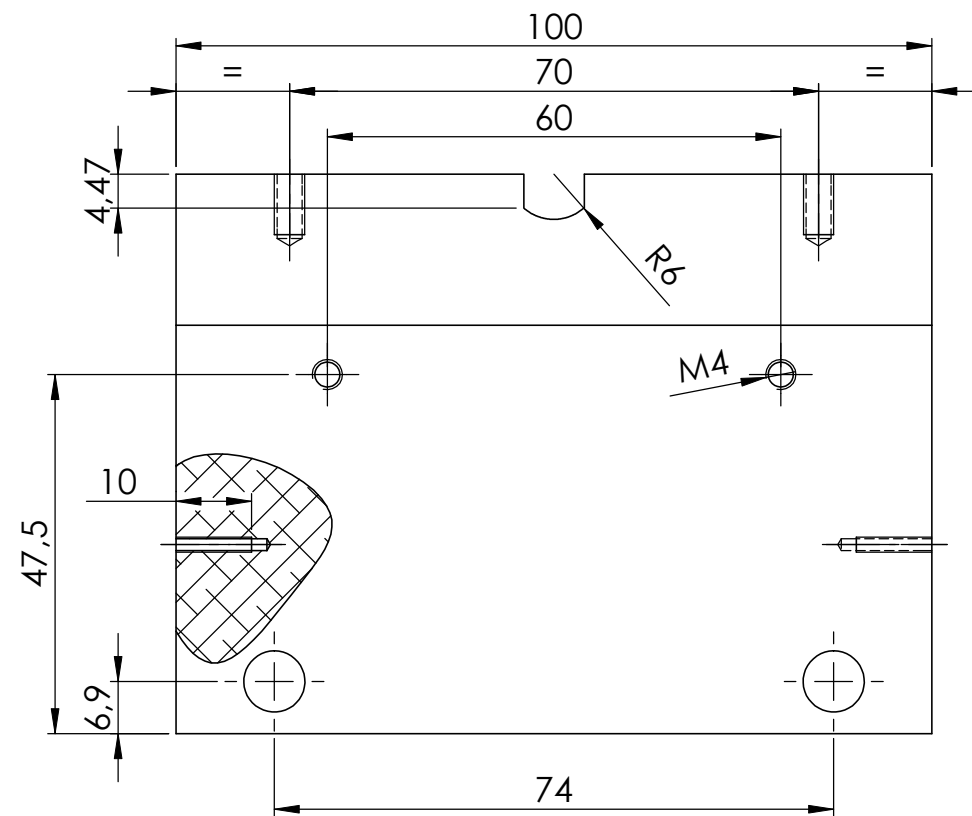
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC				REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PLANO: ACOPLE CASQUILLO				FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
				FECHA: 10/11/2012	ESCALA: 1:1
				Nº PLANO: 8	




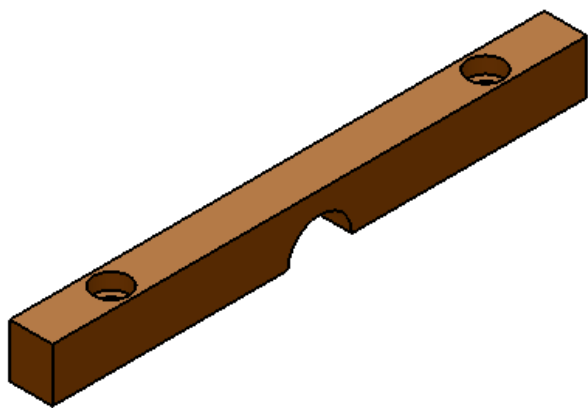
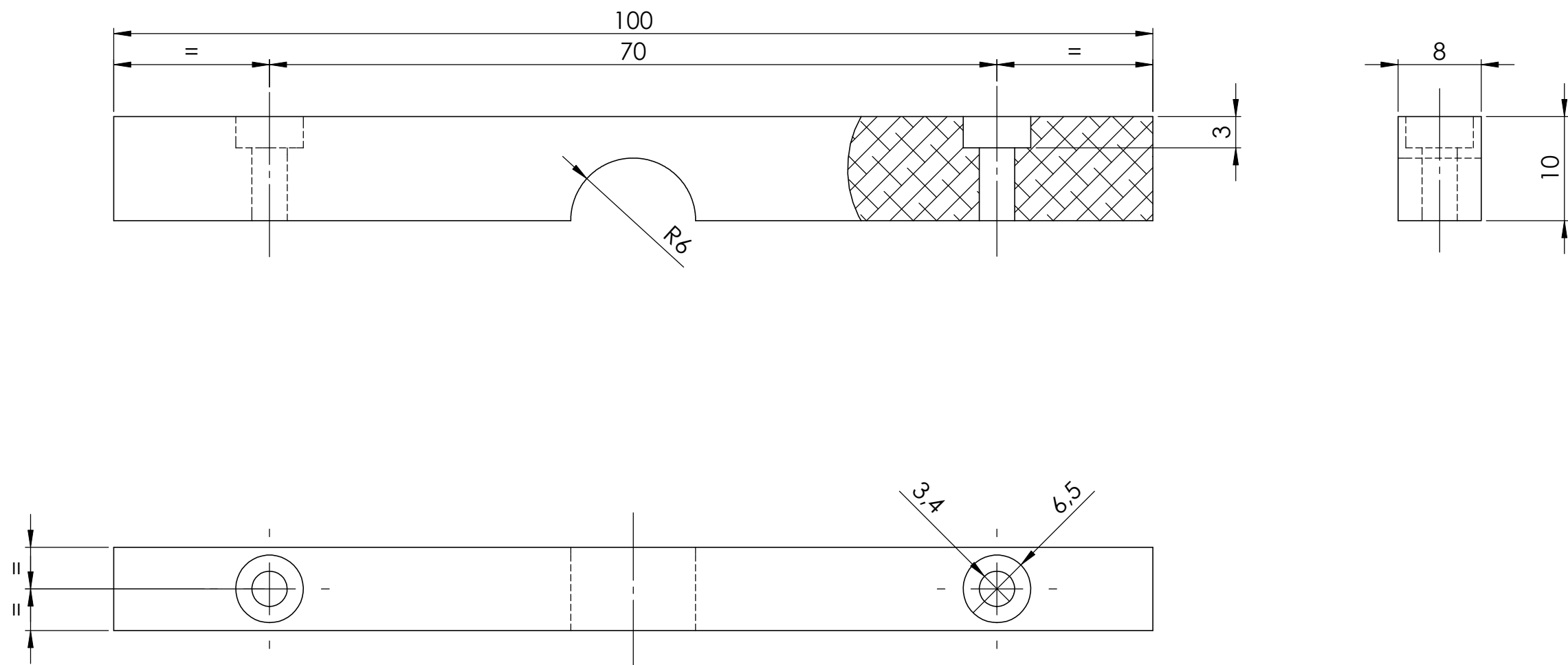
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.				
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC			REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PLANO: SOPORTE CILINDRO P2			FIRMA:		Nº PIEZAS: 1
			FECHA: 10/11/2012		ESCALA: 1:1




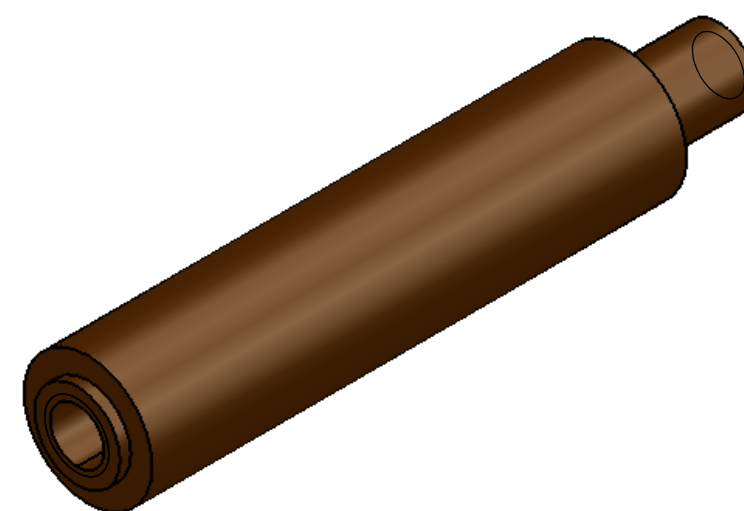
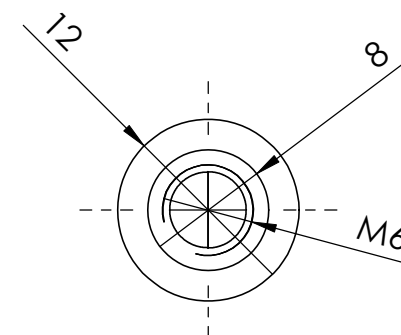
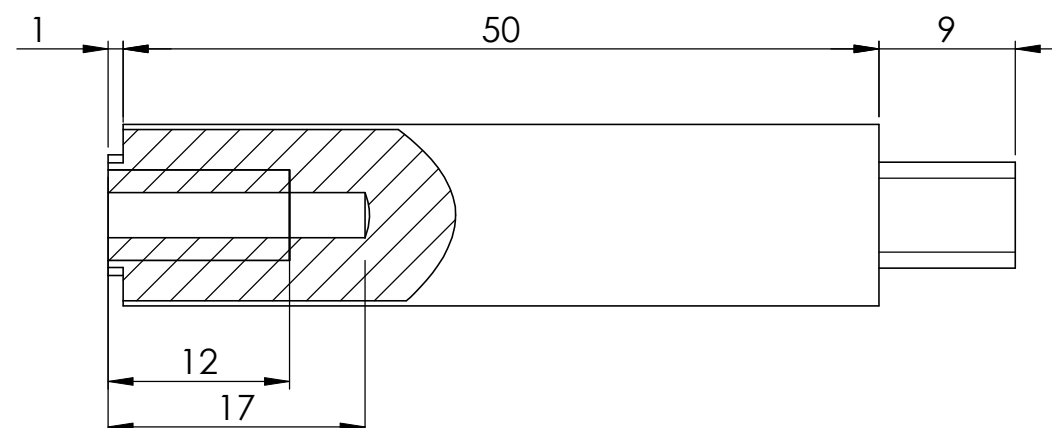
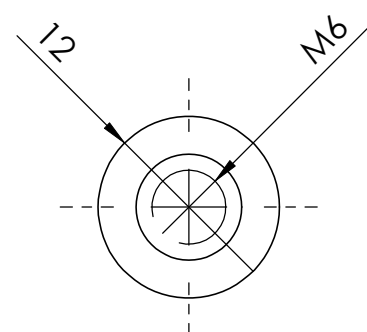
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA					
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.							
PROYECTO:				REALIZADO:					
SUSCEPTOMETRO AC				CARLOS ALAVA ALAVA					
PLANO:				FIRMA:		Nº PIEZAS:			
						1			
SOPORTE CILINDRO P1				FECHA:		ESCALA:		Nº PLANO:	
				10/11/2012		1:1		10	



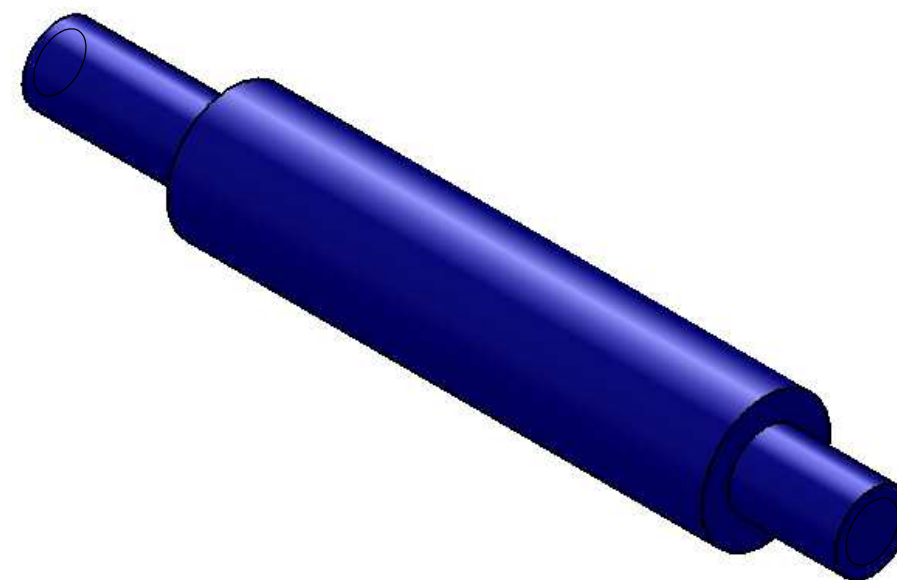
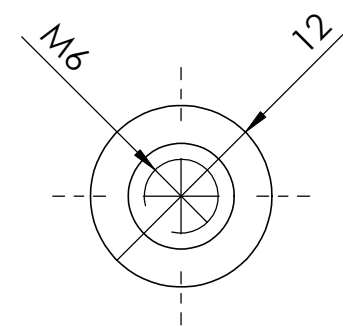
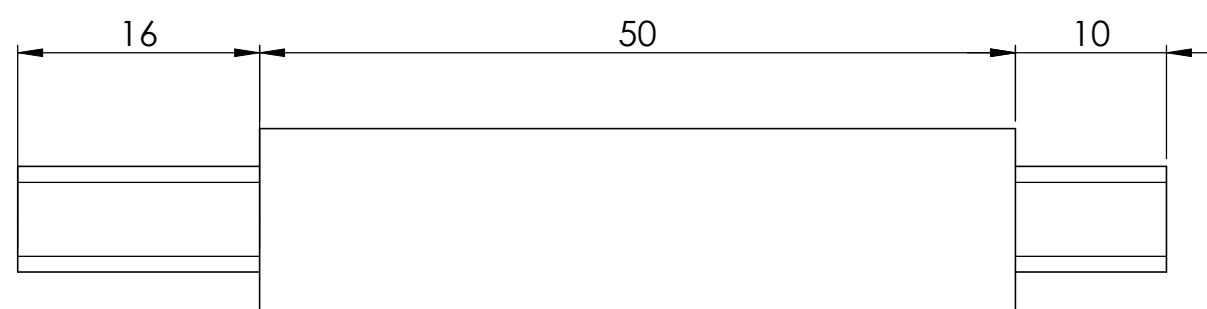
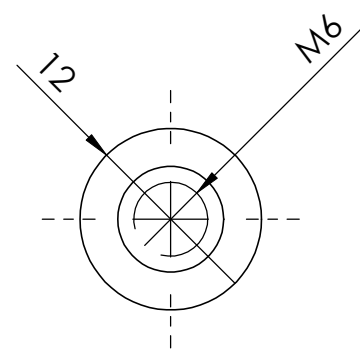
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO:		
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA		
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC				REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
				FIRMA:		Nº PIEZAS: 1
PLANO: SUJECION CILINDRO P2				FECHA: 10/11/2012	ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 12



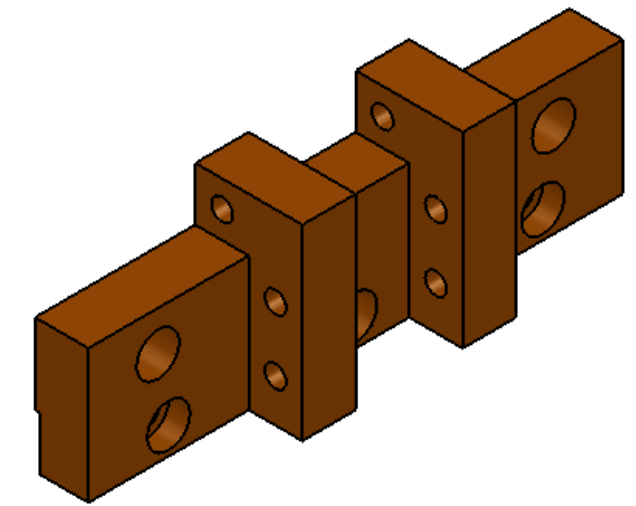
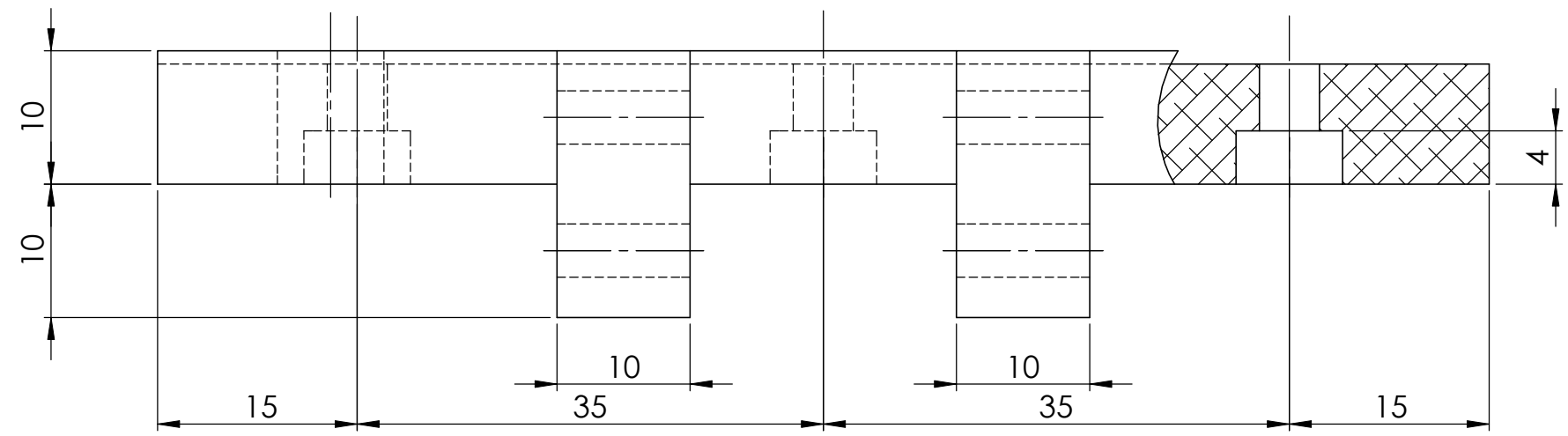
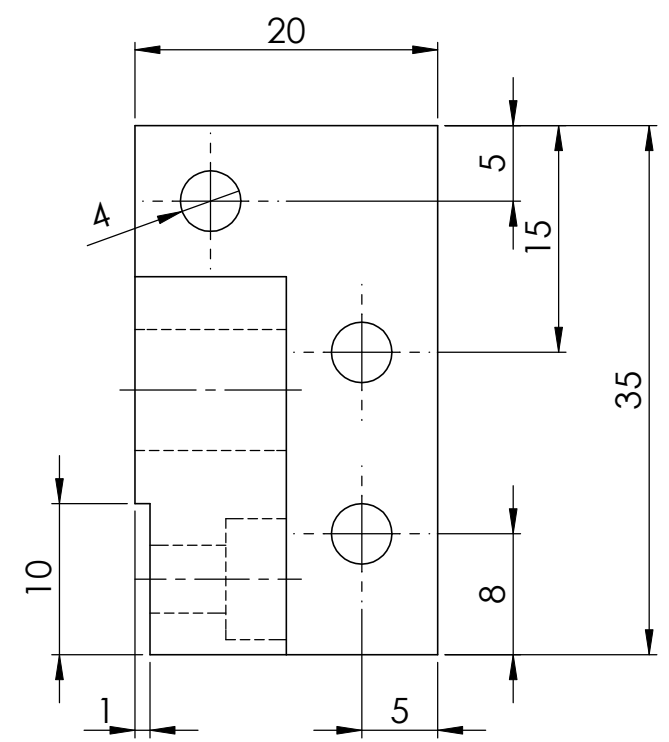
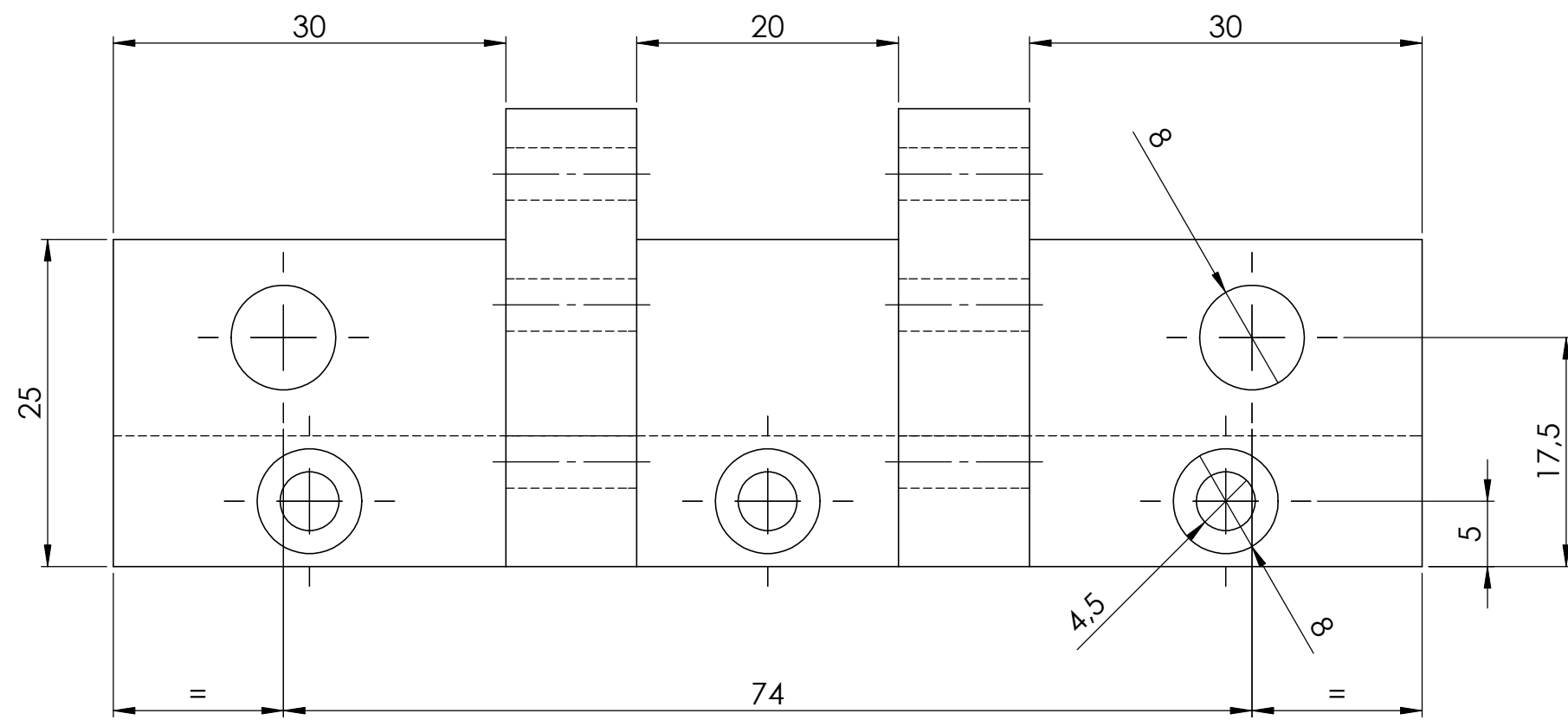
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PLANO: SEPARADOR TRASERO		FIRMA:		Nº PIEZAS: 2
		FECHA: 10/11/2012	ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 13




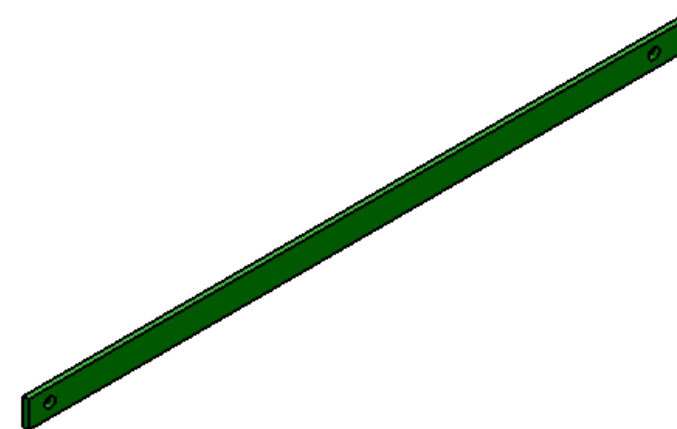
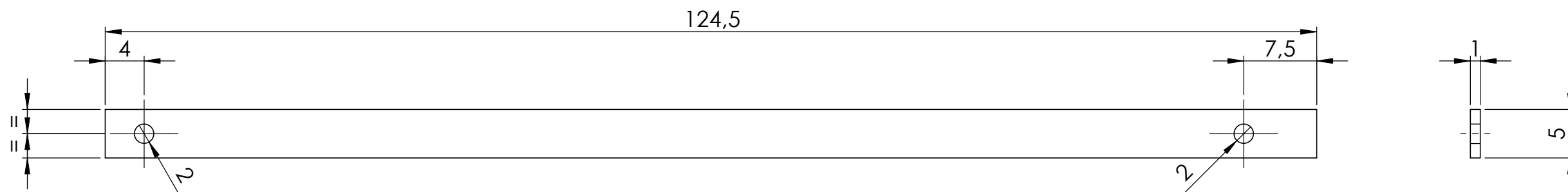
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:		Nº PIEZAS: 2
PLANO: SEPARADOR DELANTERO		FECHA: 10/11/2012	ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 14



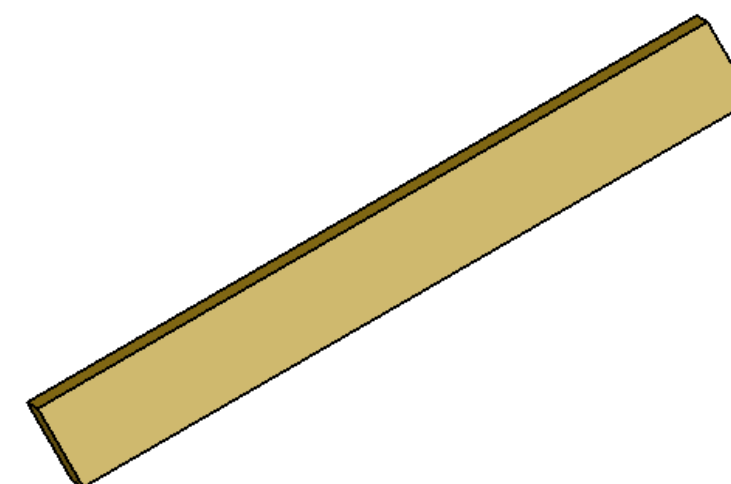
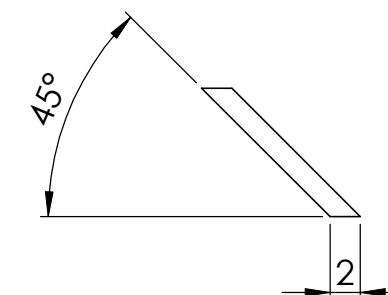
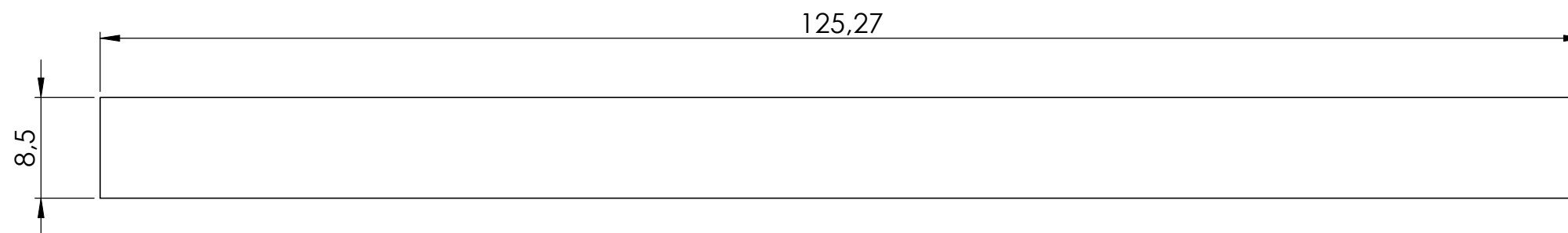
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PLANO: SOPORTE CILINDRO-MICROMETRO	FECHA: 10/11/2012	ESCALA: 2:1	Nº PIEZAS: 1	Nº PLANO: 15



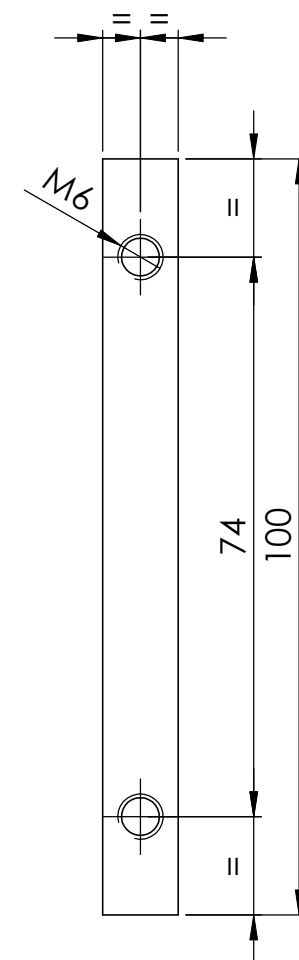
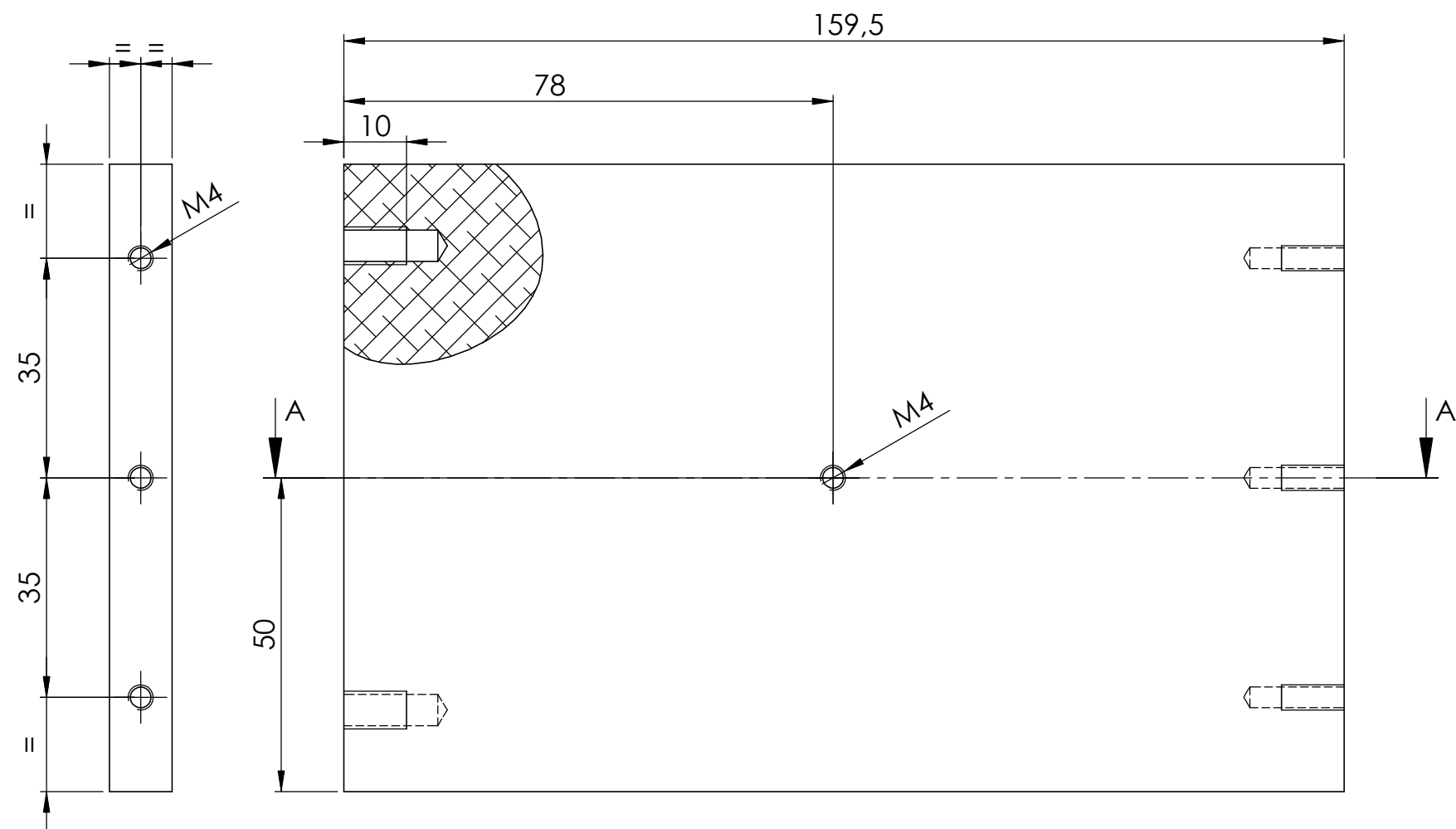
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5º

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PLANO: SUJECIONES PIEZA-CILINDRO		FIRMA:	Nº PIEZAS: 2
		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 2:1
		Nº PLANO: 16	

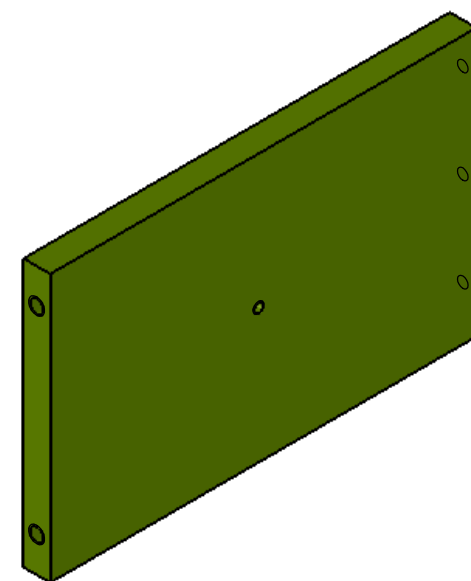
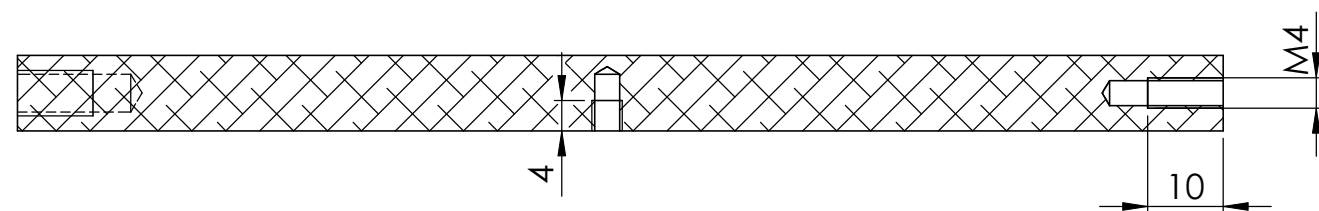


Salvo indicacion contraria cotas en milímetros, angulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:		Nº PIEZAS: 1
PLANO: PLETINA COLA DE MILANO		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 2:1	Nº PLANO: 17

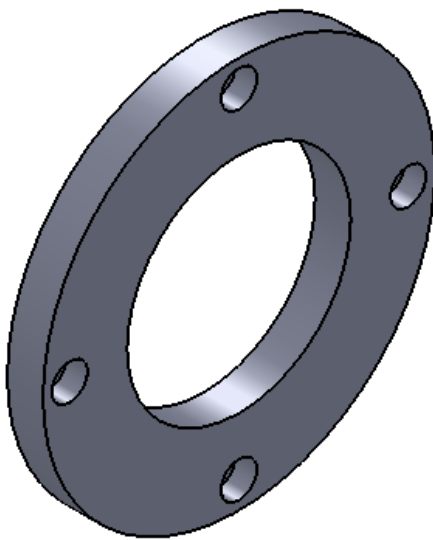
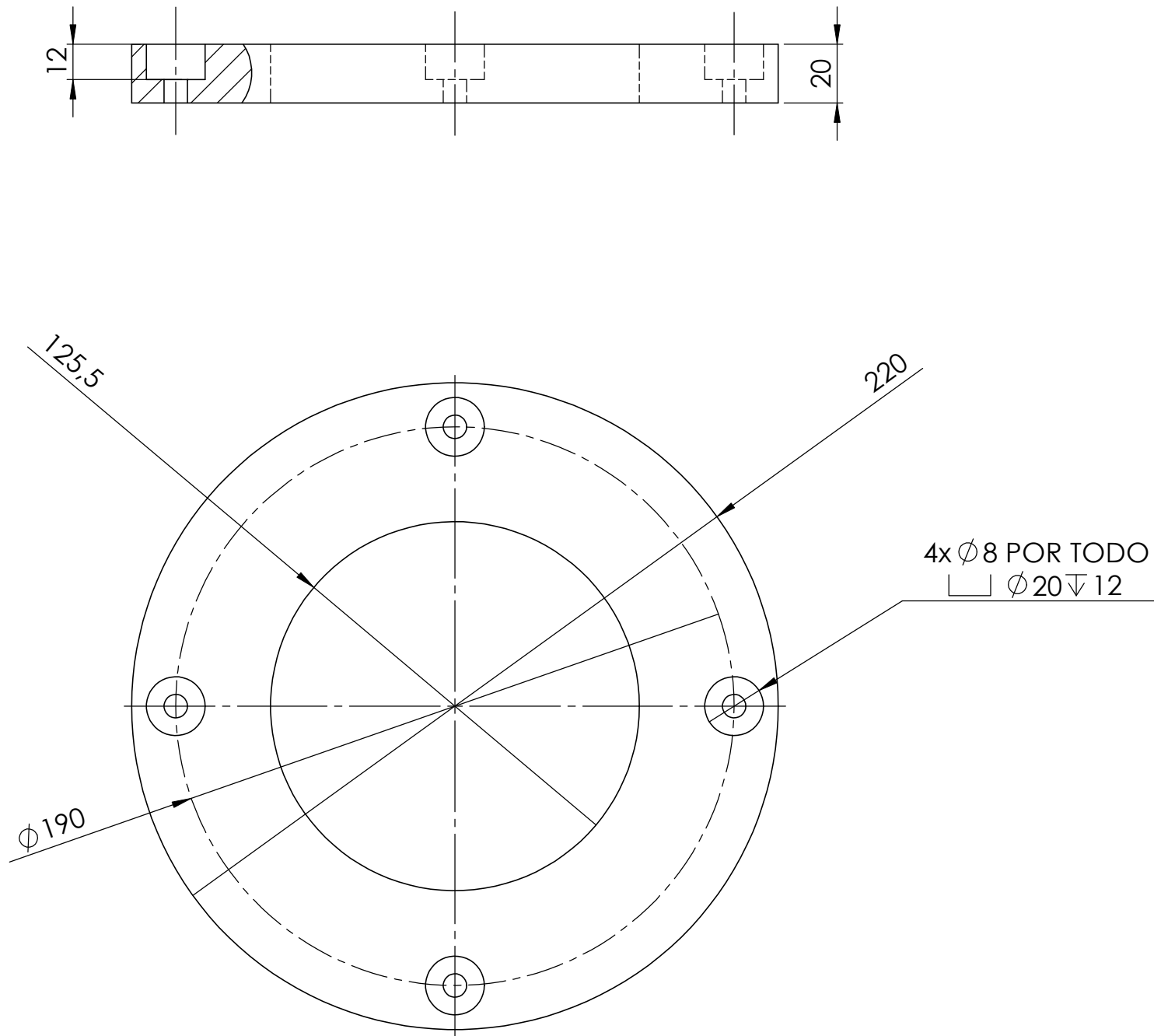


SECCIÓN A-A




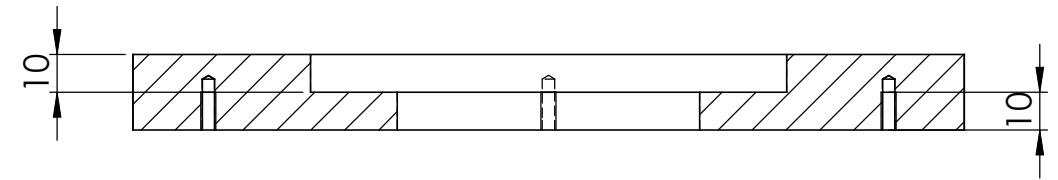
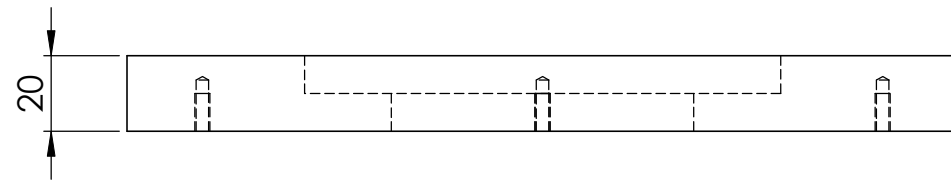
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.				
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC			REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PLANO: PLACA DE SUJECION			FIRMA:		Nº PIEZAS: 1
			FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 18

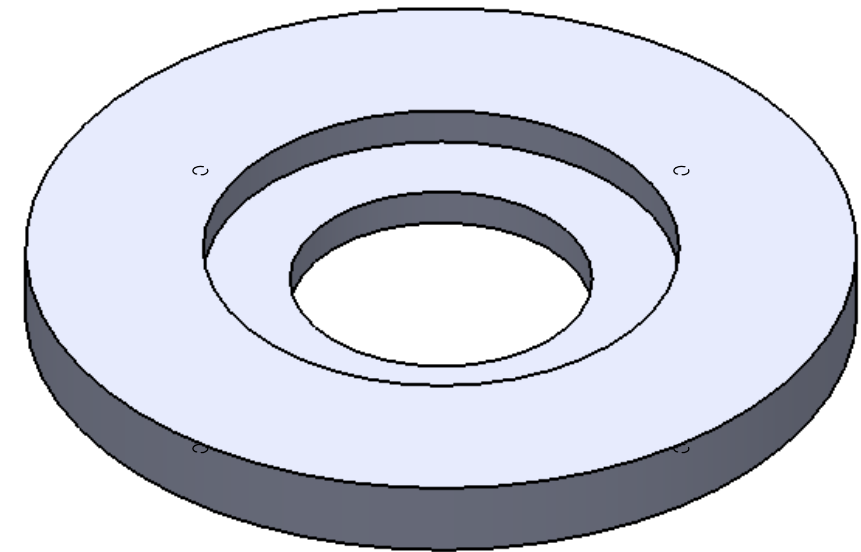
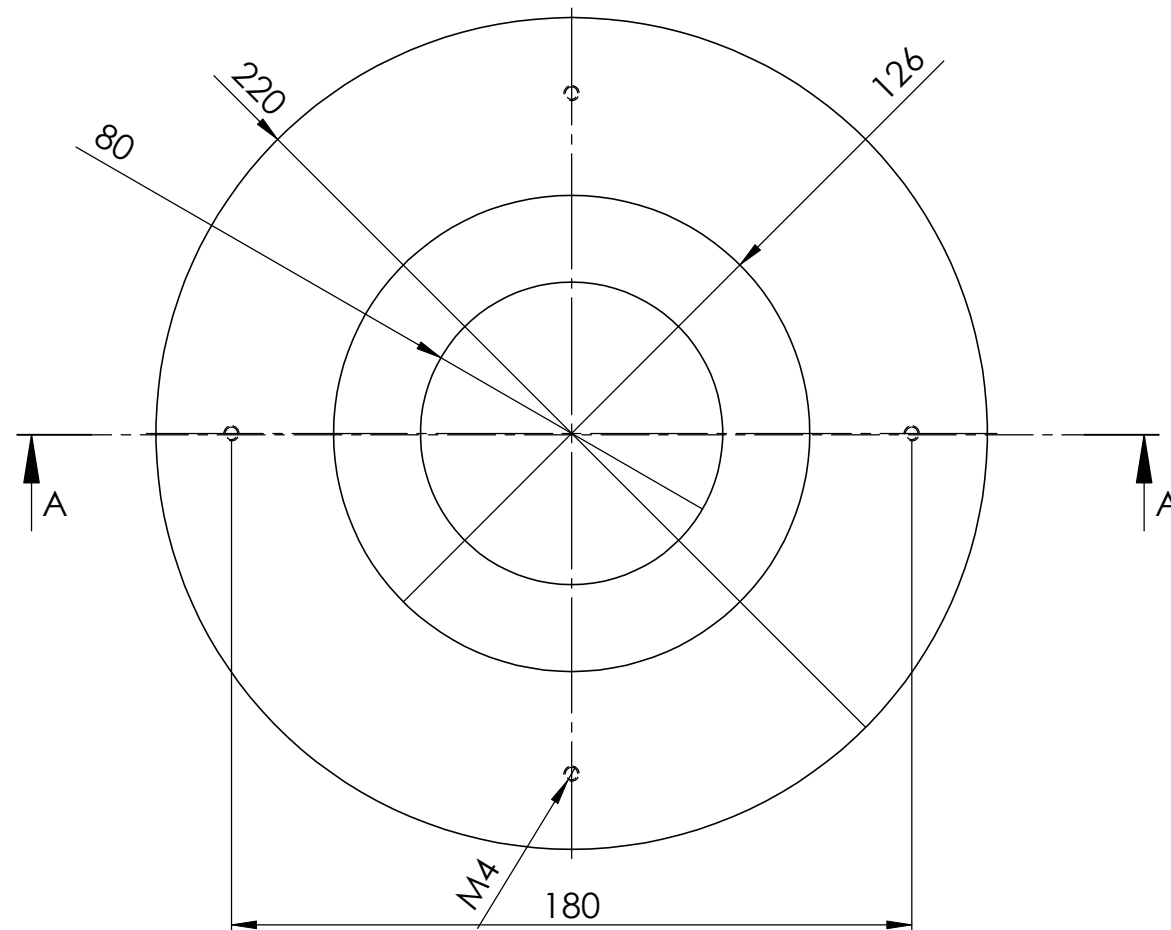


Salvo indicacion contraria cotas en milímetros, angulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5º


 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO: ANILLO DE SUJECION		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:2
			Nº PLANO: 19



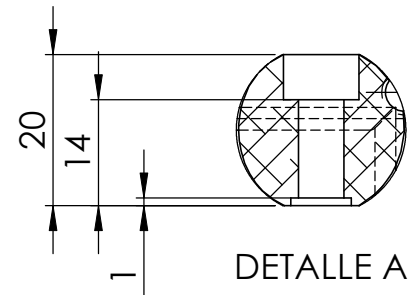
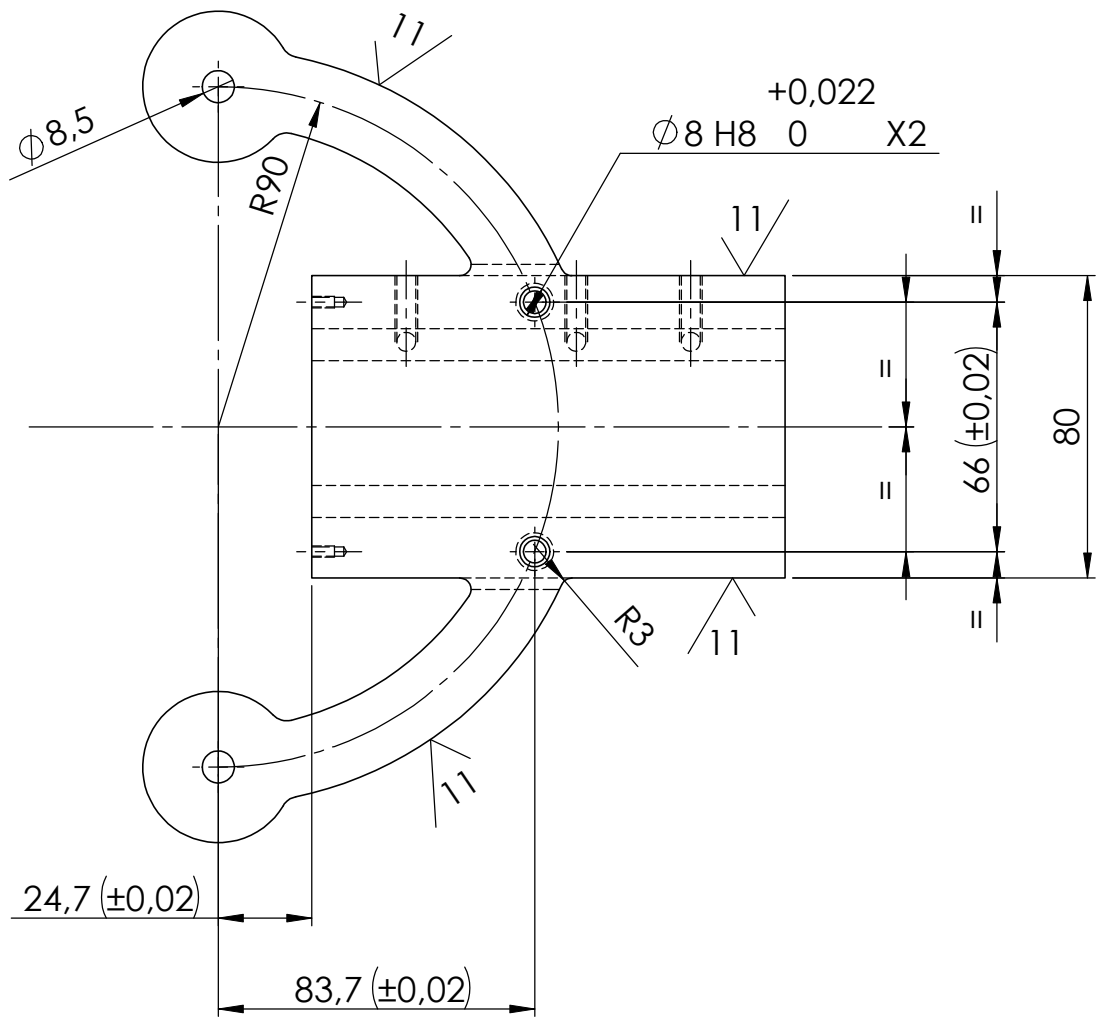
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



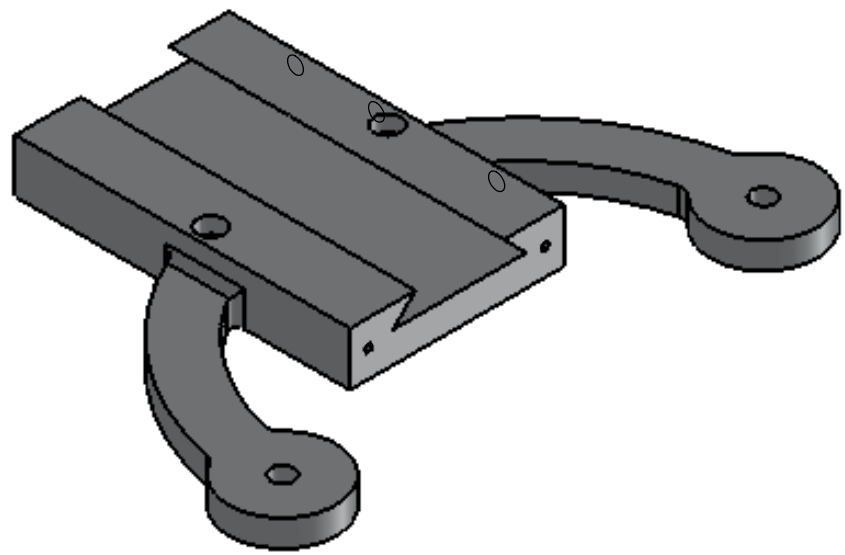
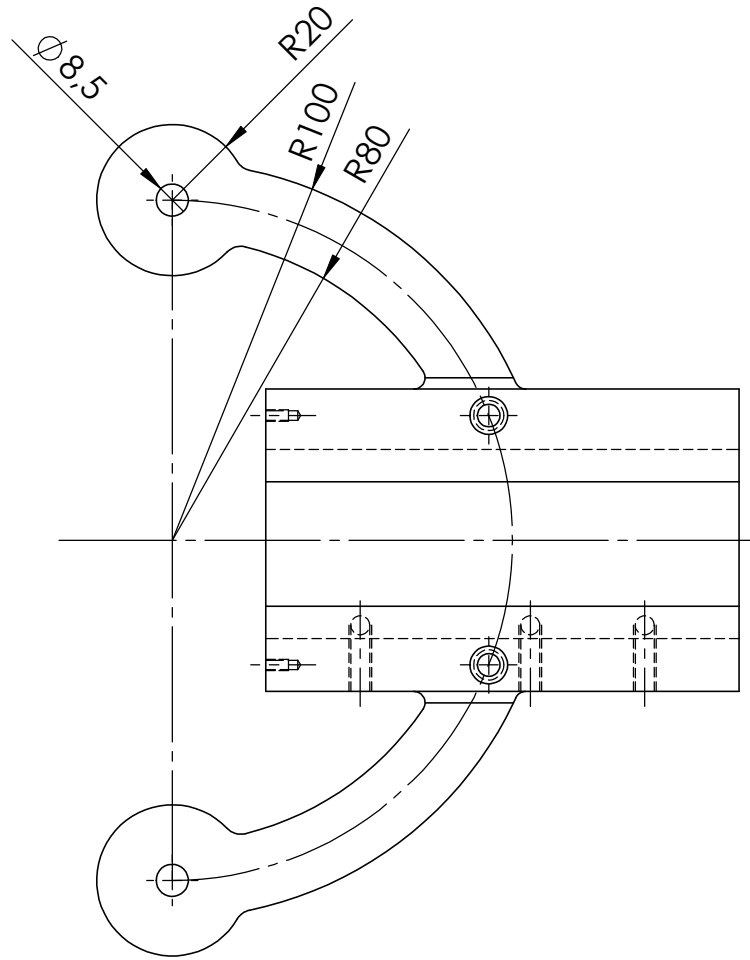
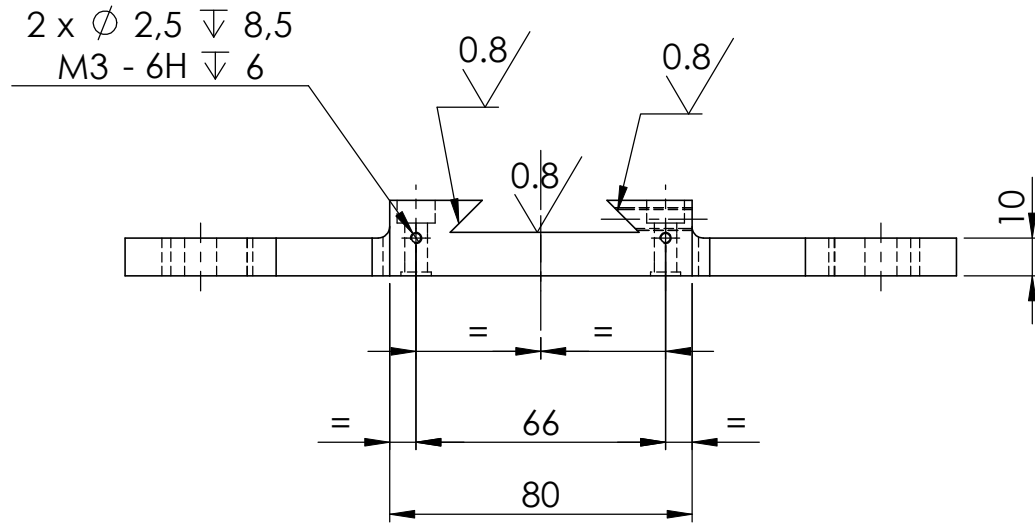
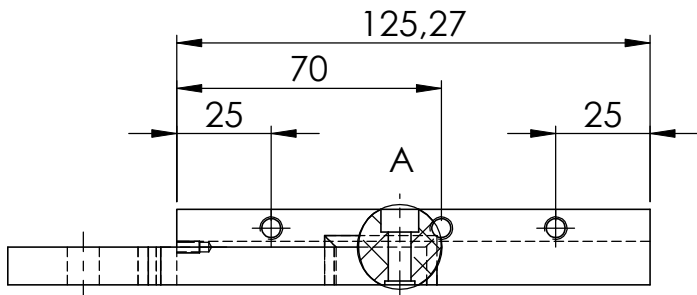
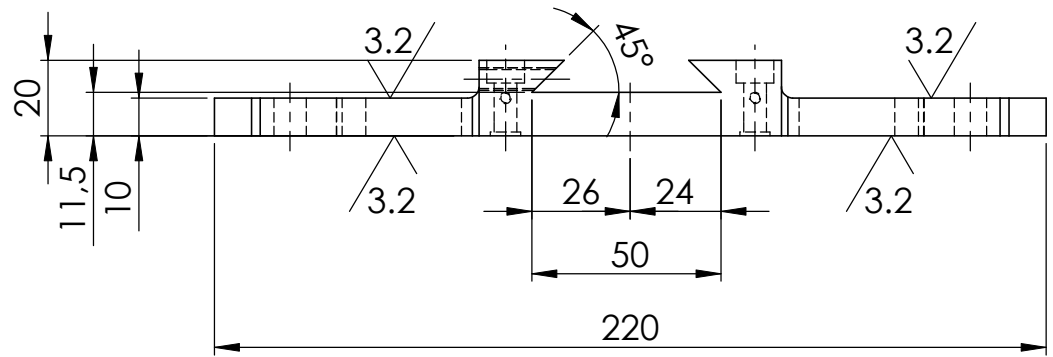
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias $\pm 0.1\text{mm}$ y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO: SUJECION DEWAR		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:2 Nº PLANO: 20


Mecanizado basto $\frac{11}{\nabla}$
Mecanizado normal $\frac{3.2}{\nabla}$
Recatificado $\frac{0.8}{\nabla}$

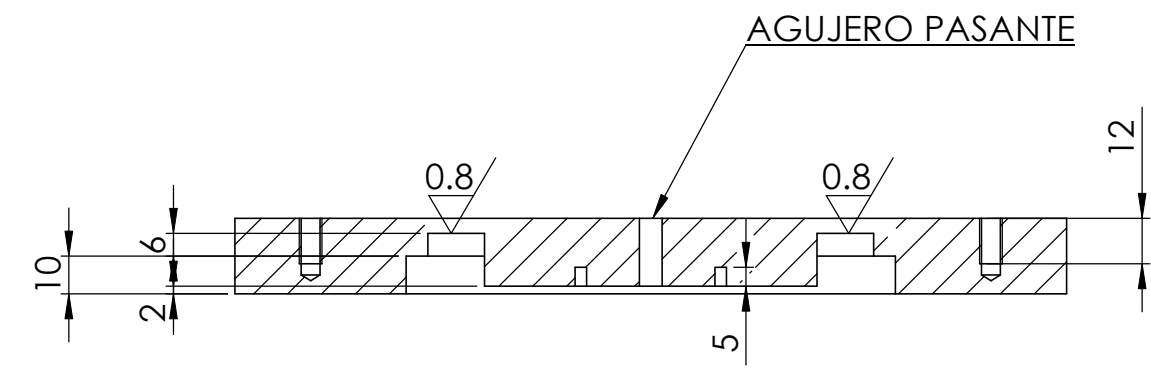
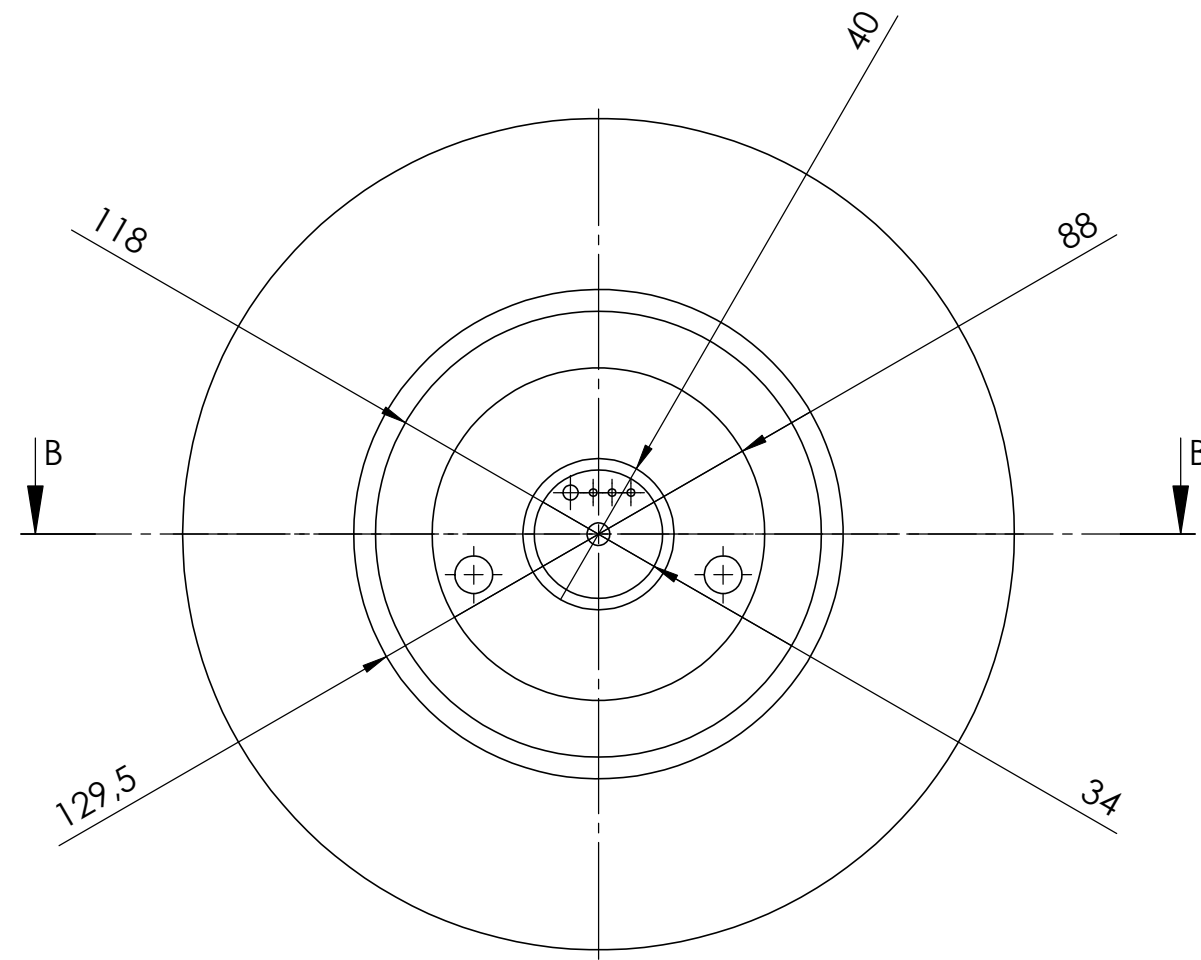


TENER CUIDADO A LA HORA DE HACER LA COLA DE MILANO, ESTA DESPLAZADA 2mm DEL LADO DE LOS PRISIONEROS

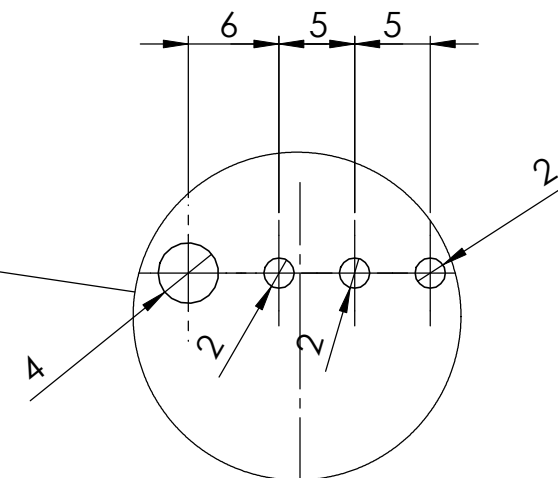
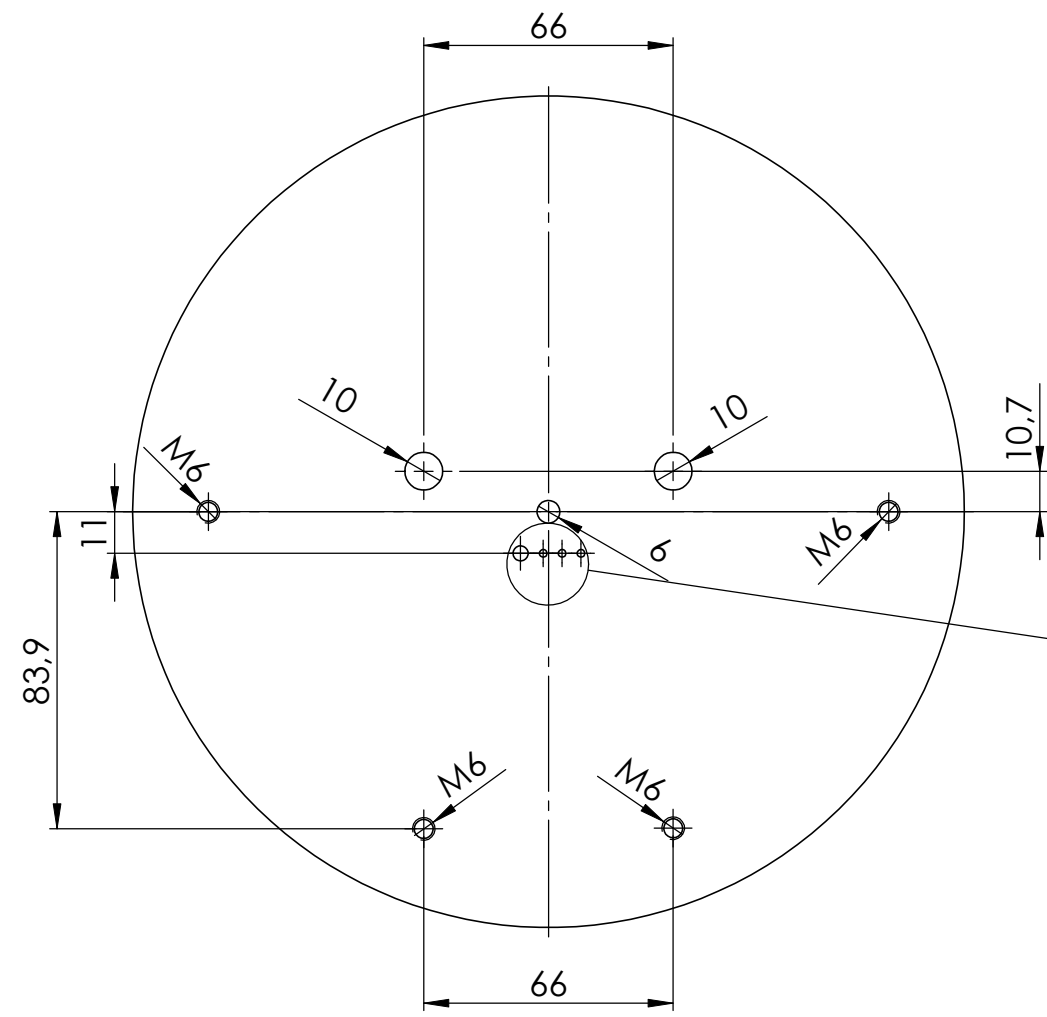
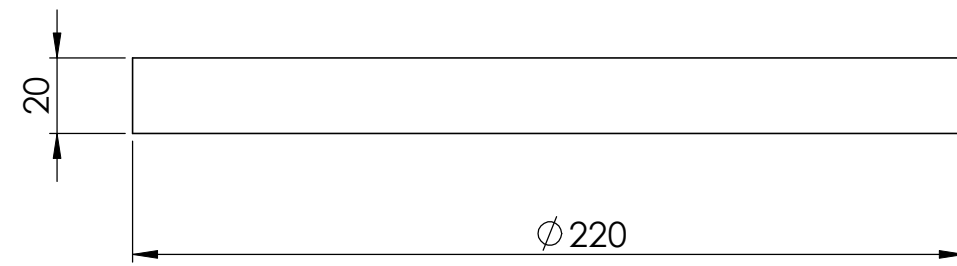


(1:2)

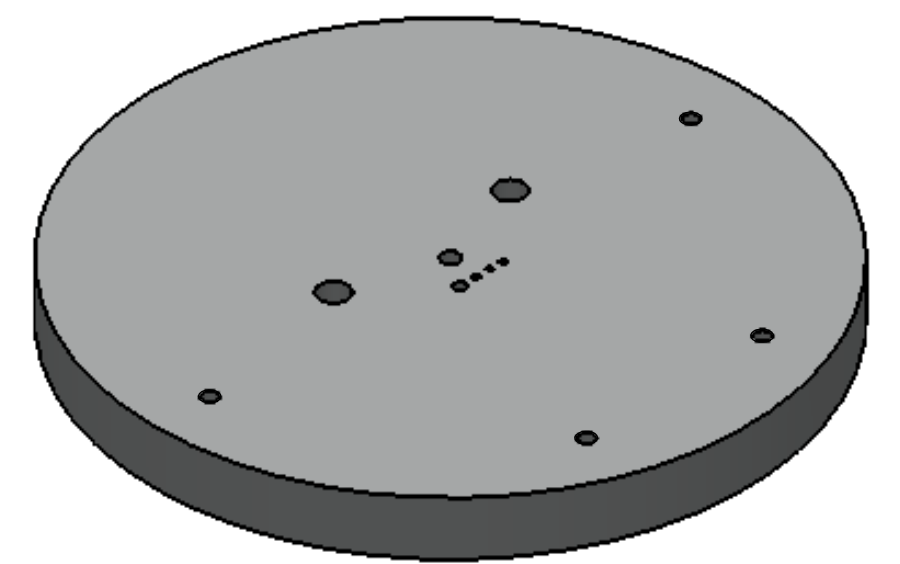
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°			
 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		DEPARTAMENTO DE FISICA
	PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA
FIRMA:		Nº PIEZAS: 1	
PLANO:	SOPORTE COLA DE MILANO H.		FECHA: 10/10/2012 ESCALA: 1:2 Nº PLANO: 21




SECCIÓN B-B



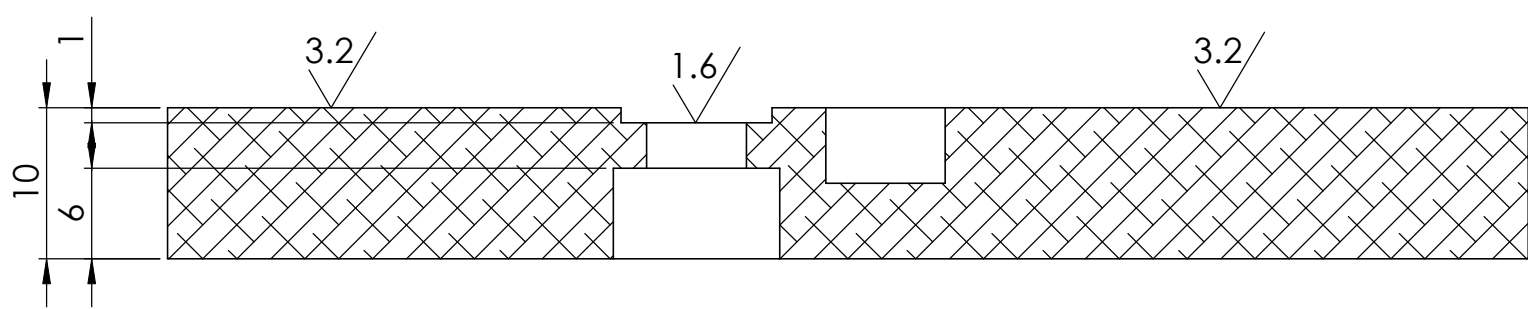
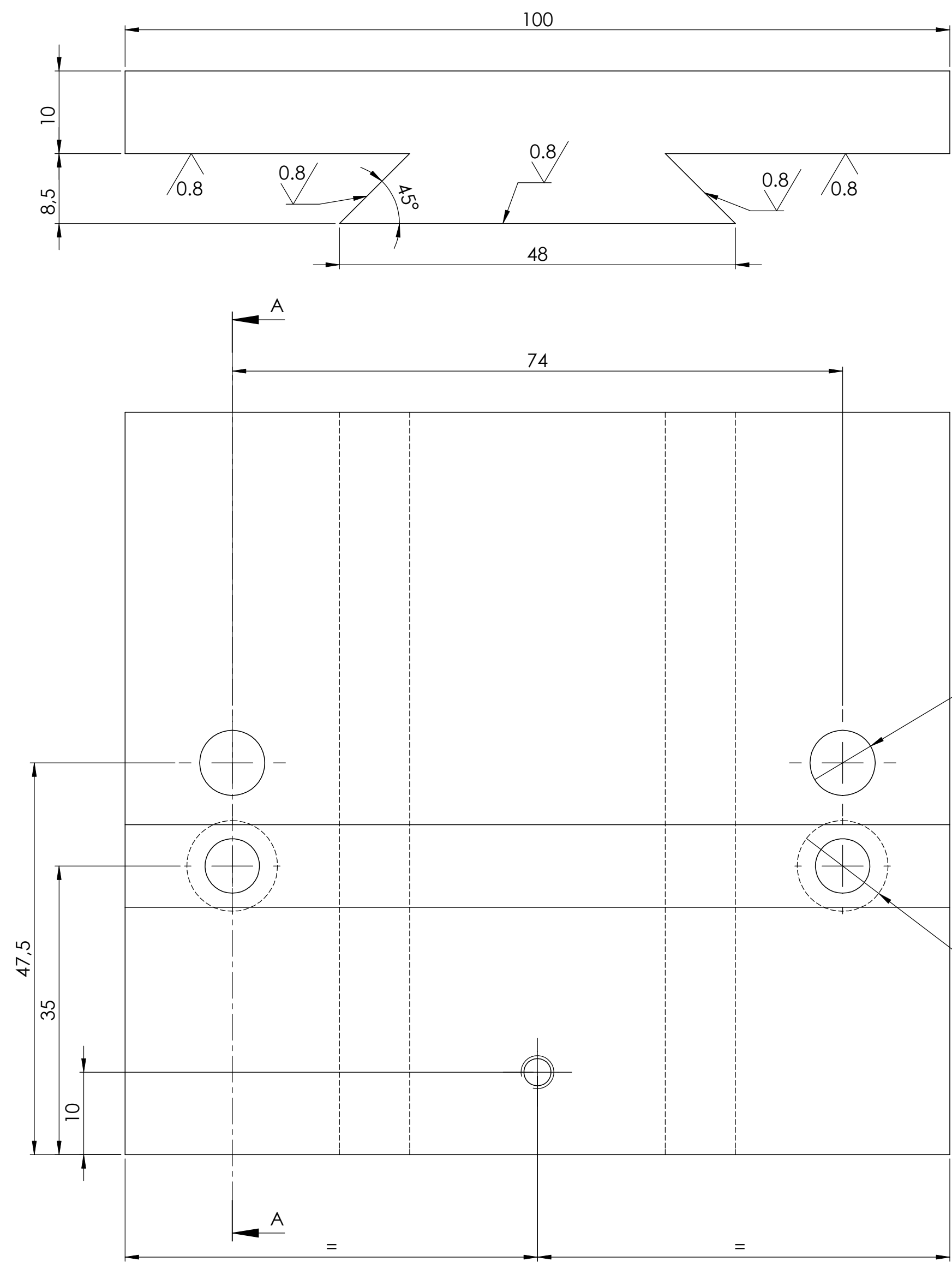
DETALLE A
ESCALA 2 : 1



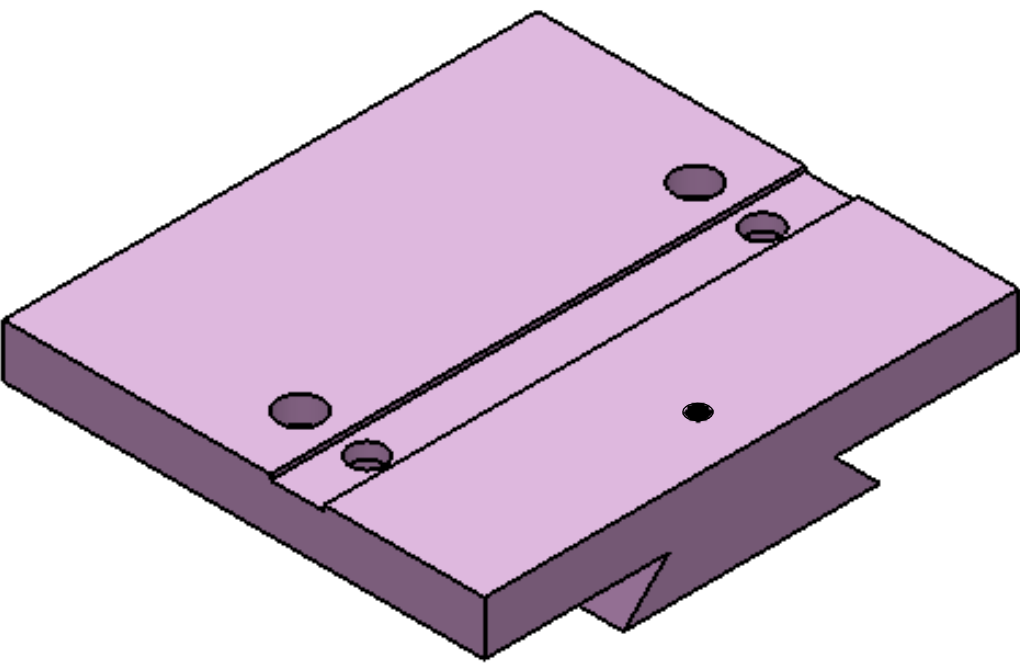
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO DE FÍSICA	
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO: TAPA DEWAR	FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:2	Nº PLANO: 22


Mecanizado normal $\nabla 3.2$
Rectificado $\nabla 0.8$
Mecanizado fino $\nabla 1.6$

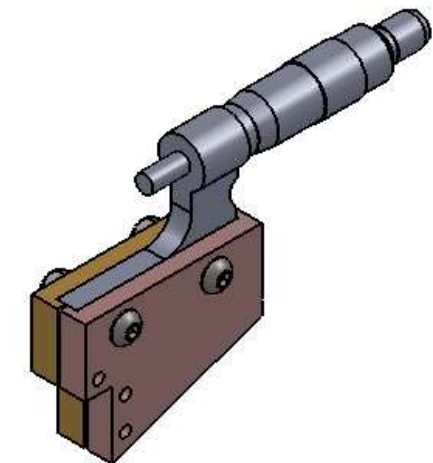
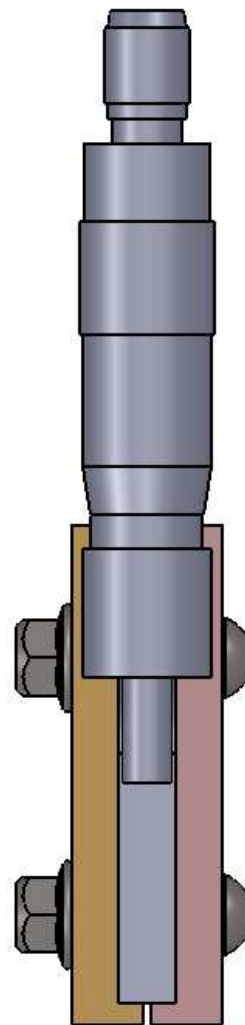
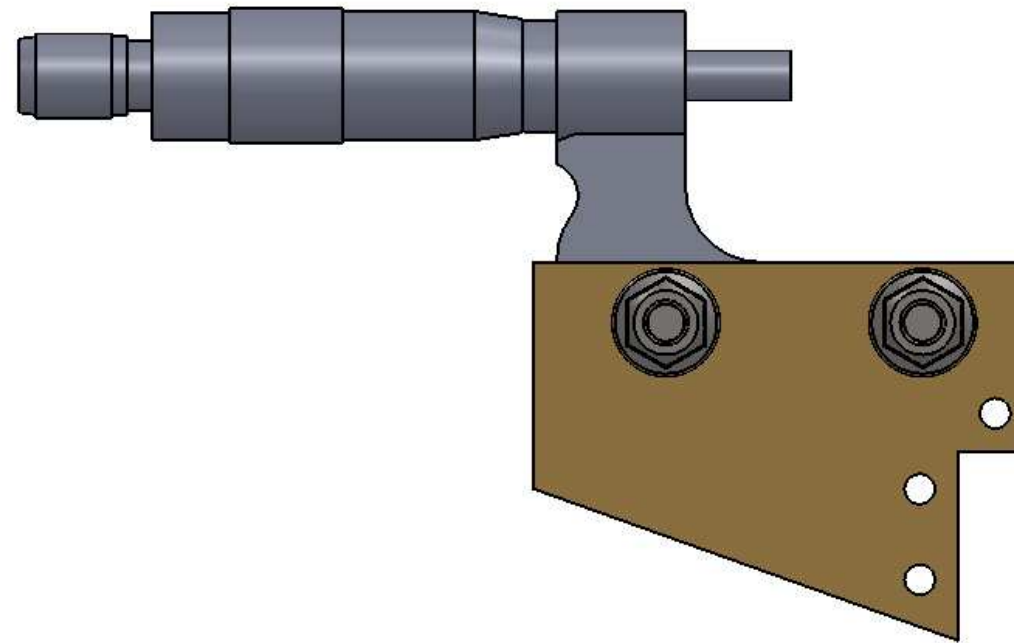
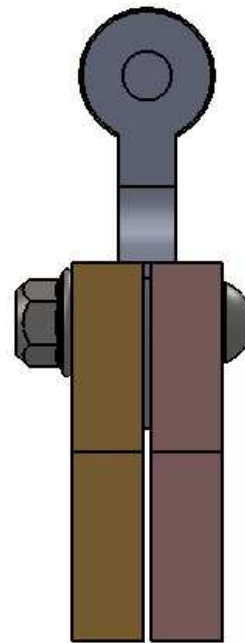


SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1




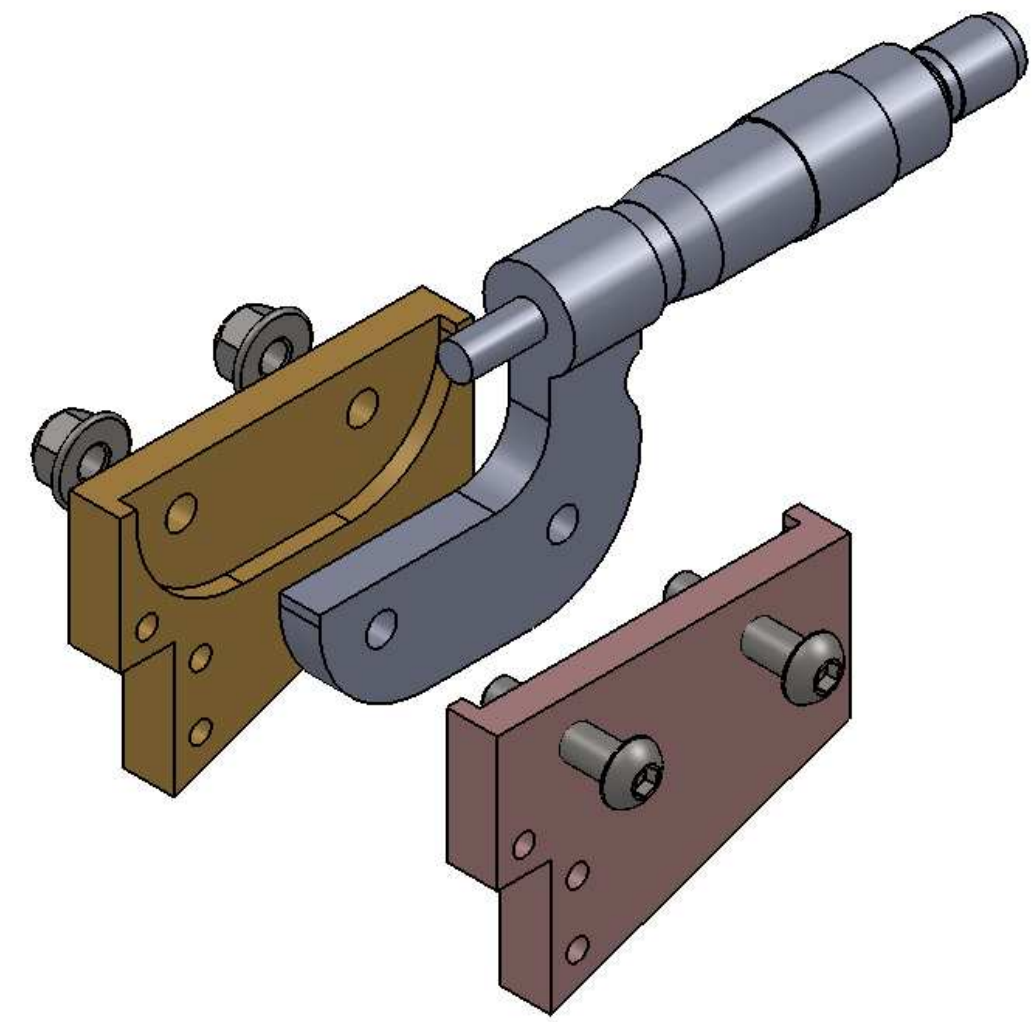
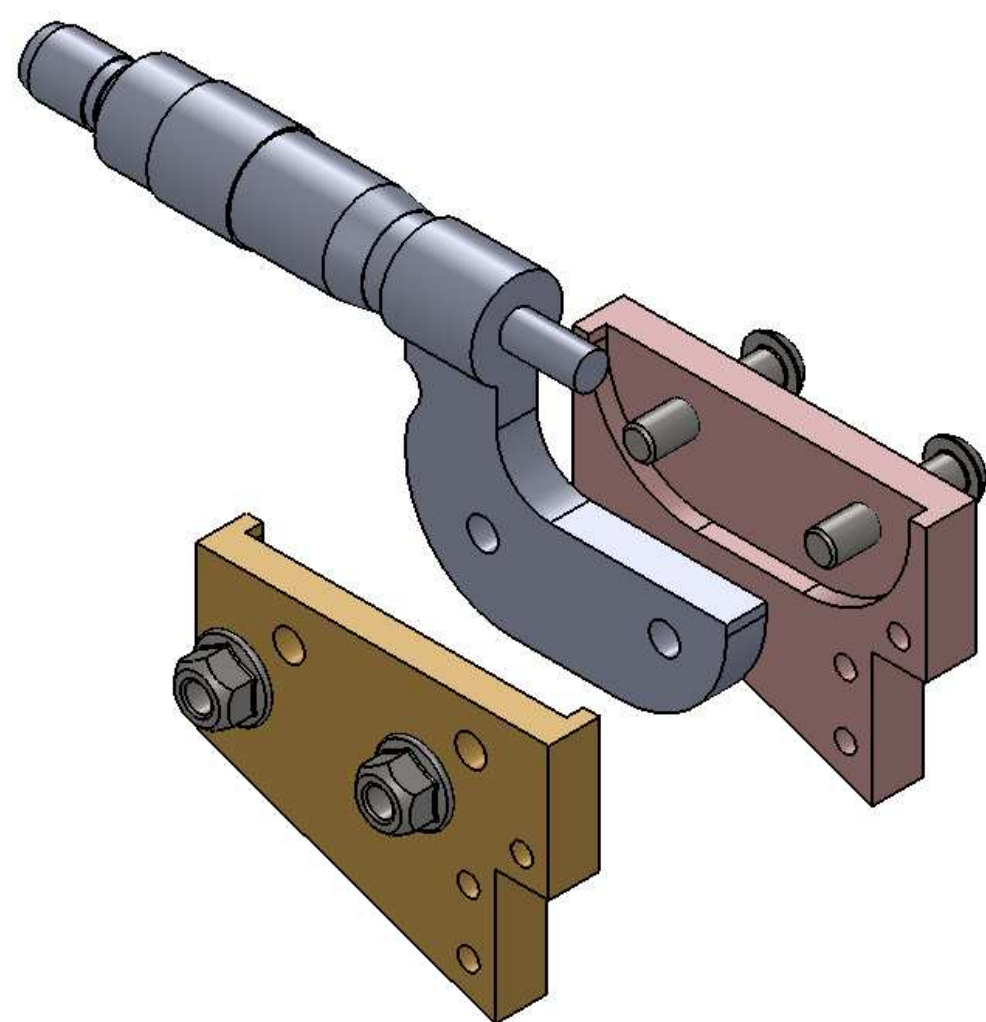
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FÍSICA
	PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA
PLANO: INGENIERO	FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1
	Nº PIEZAS: 1	Nº PLANO: 23




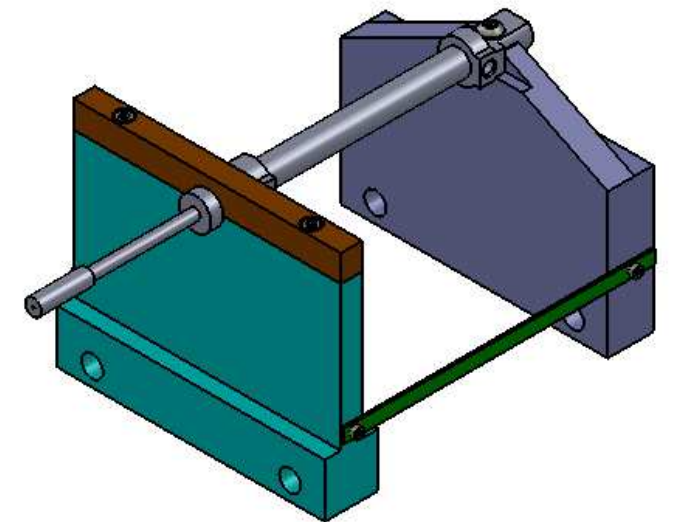
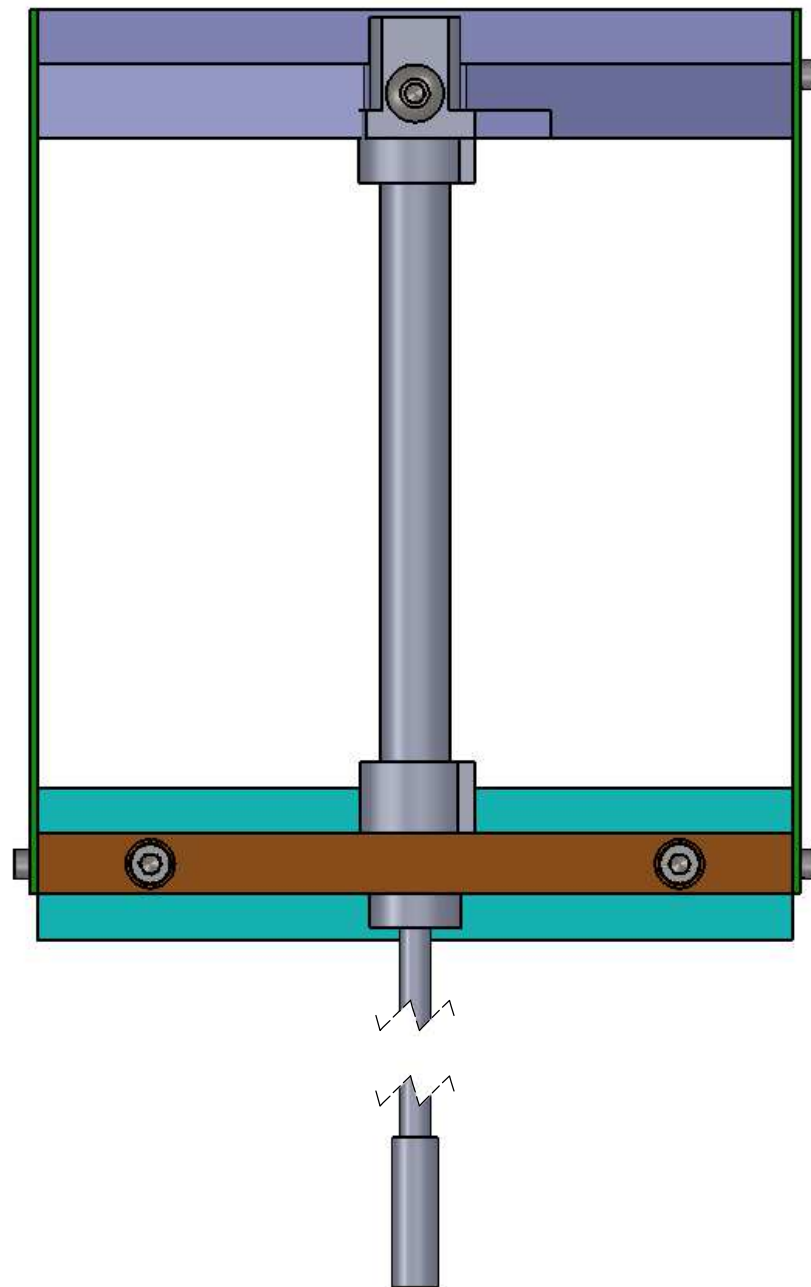
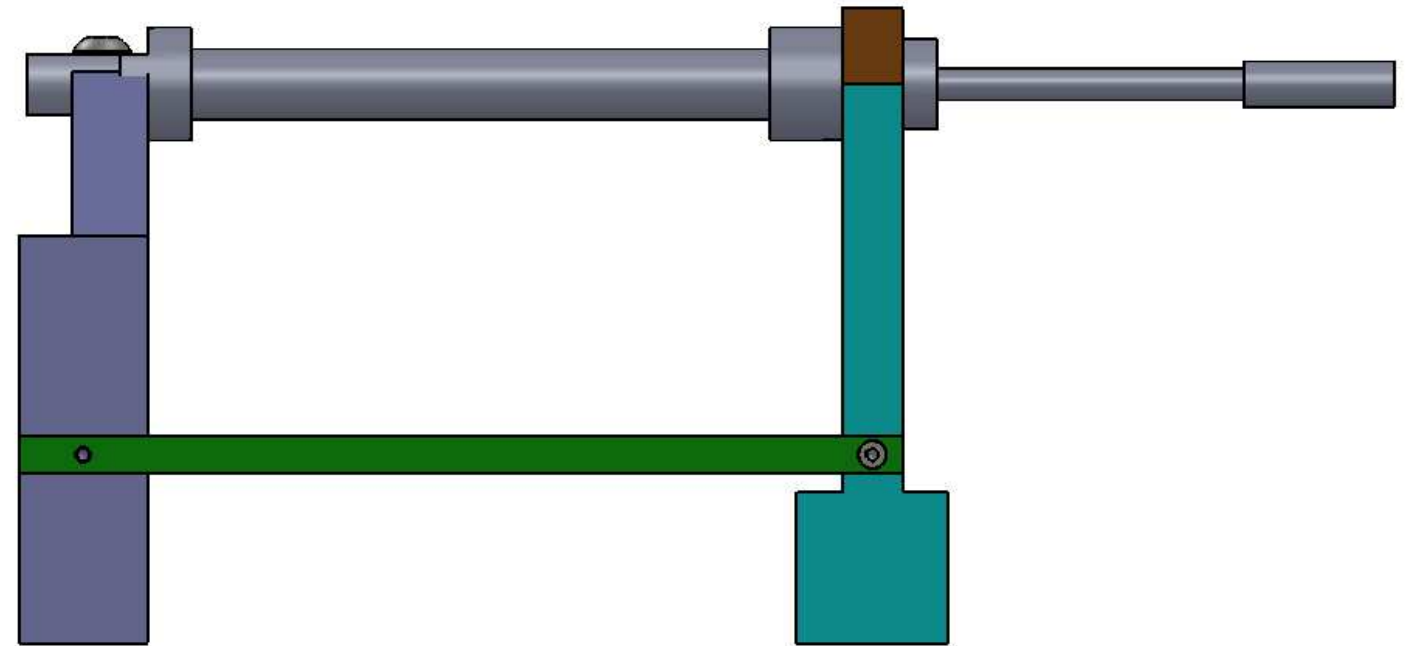
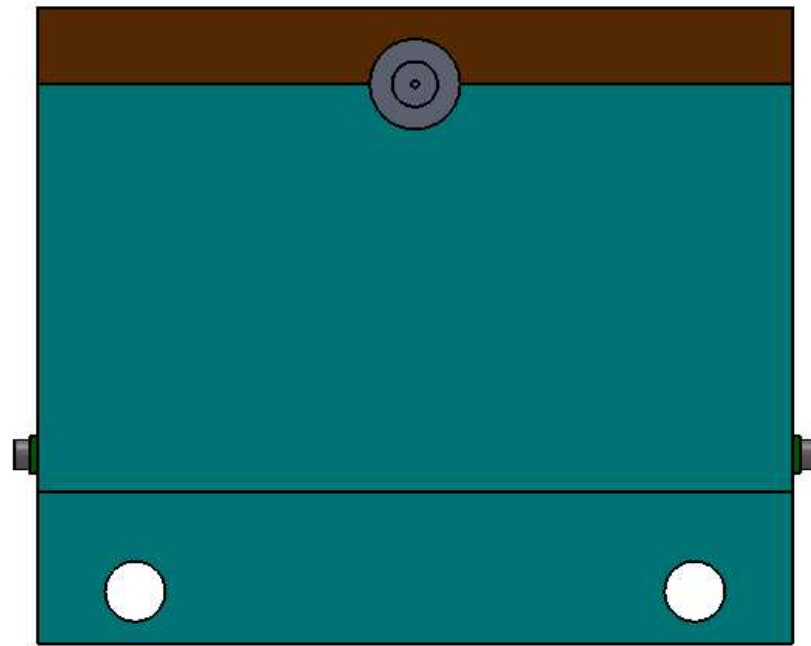
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:		Nº PIEZAS: 1
PLANO: CONJUNTO MICROMETRO		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 24



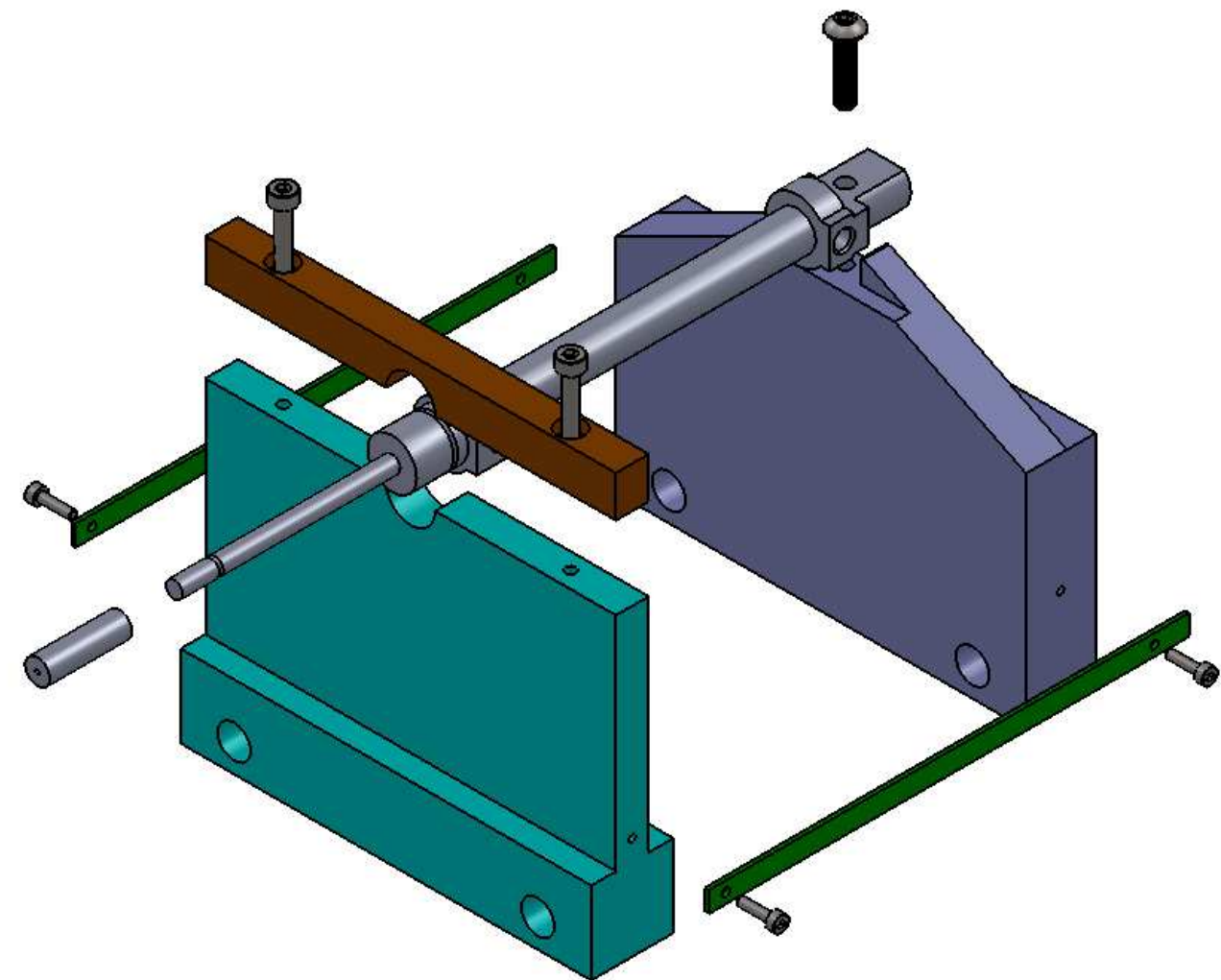
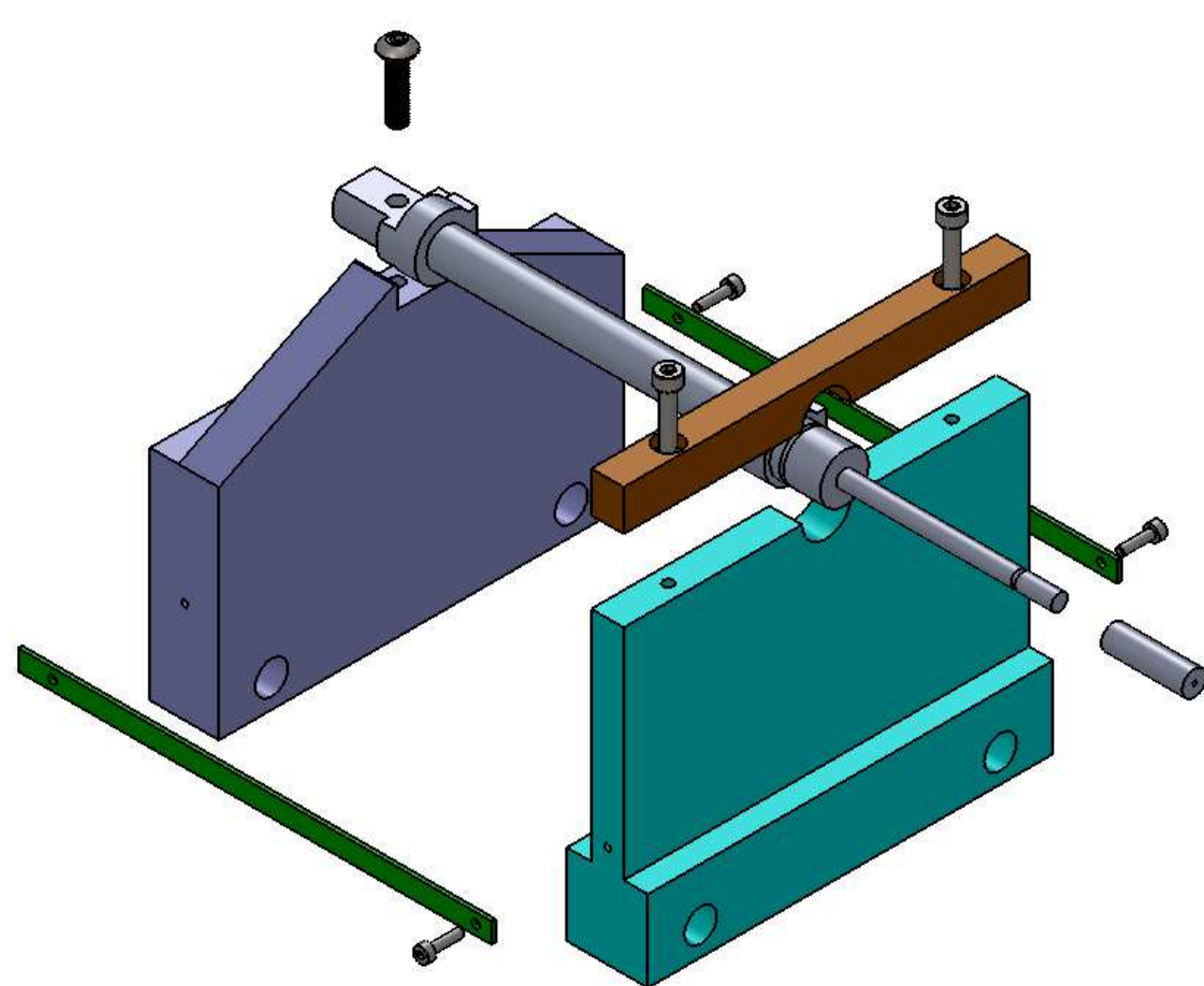
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5º

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	ET.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO: CONJUNTO MICROMETRO EXPLOSION		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1 Nº PLANO: 25




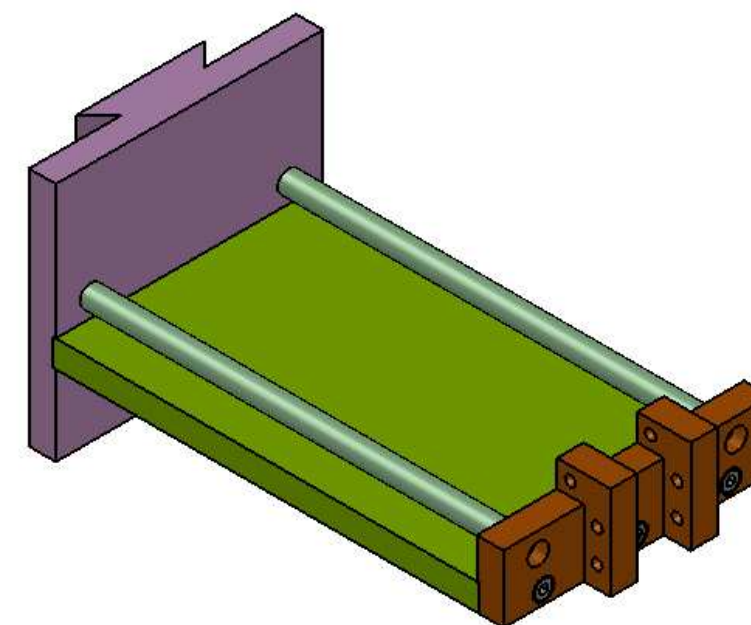
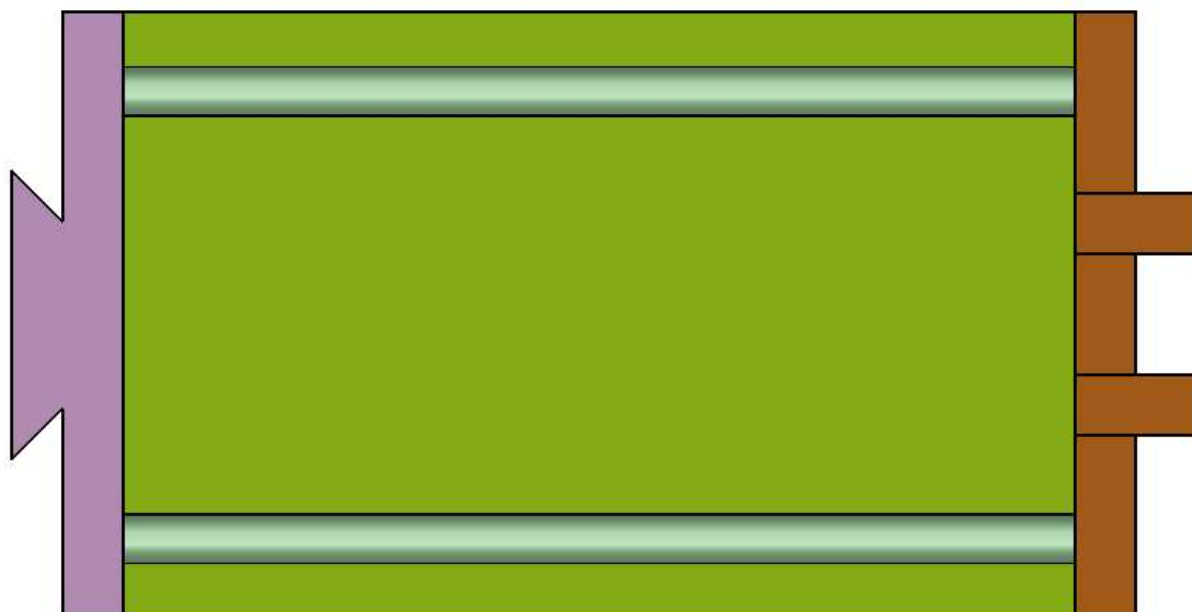
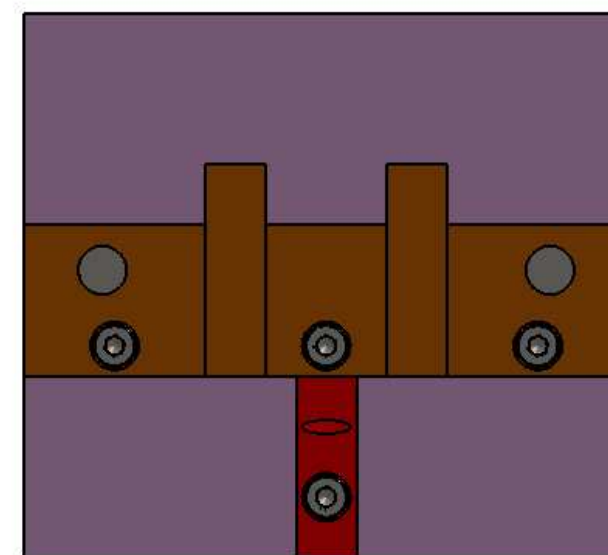
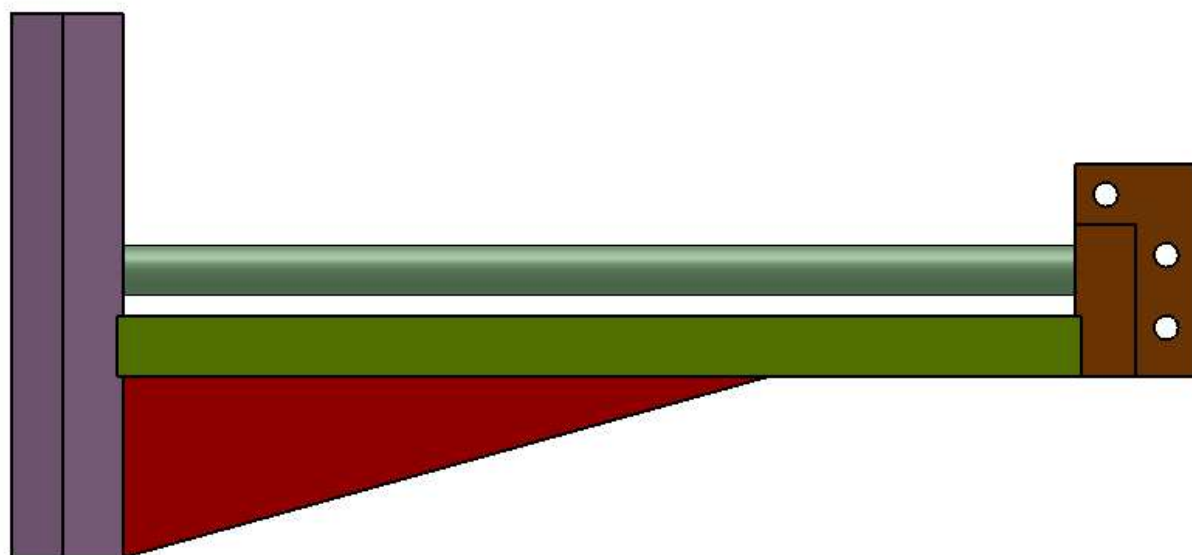
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias $\pm 0.1\text{mm}$ y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FÍSICA	
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO: CONJUNTO SUJECION CILINDRO		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1 Nº PLANO: 26




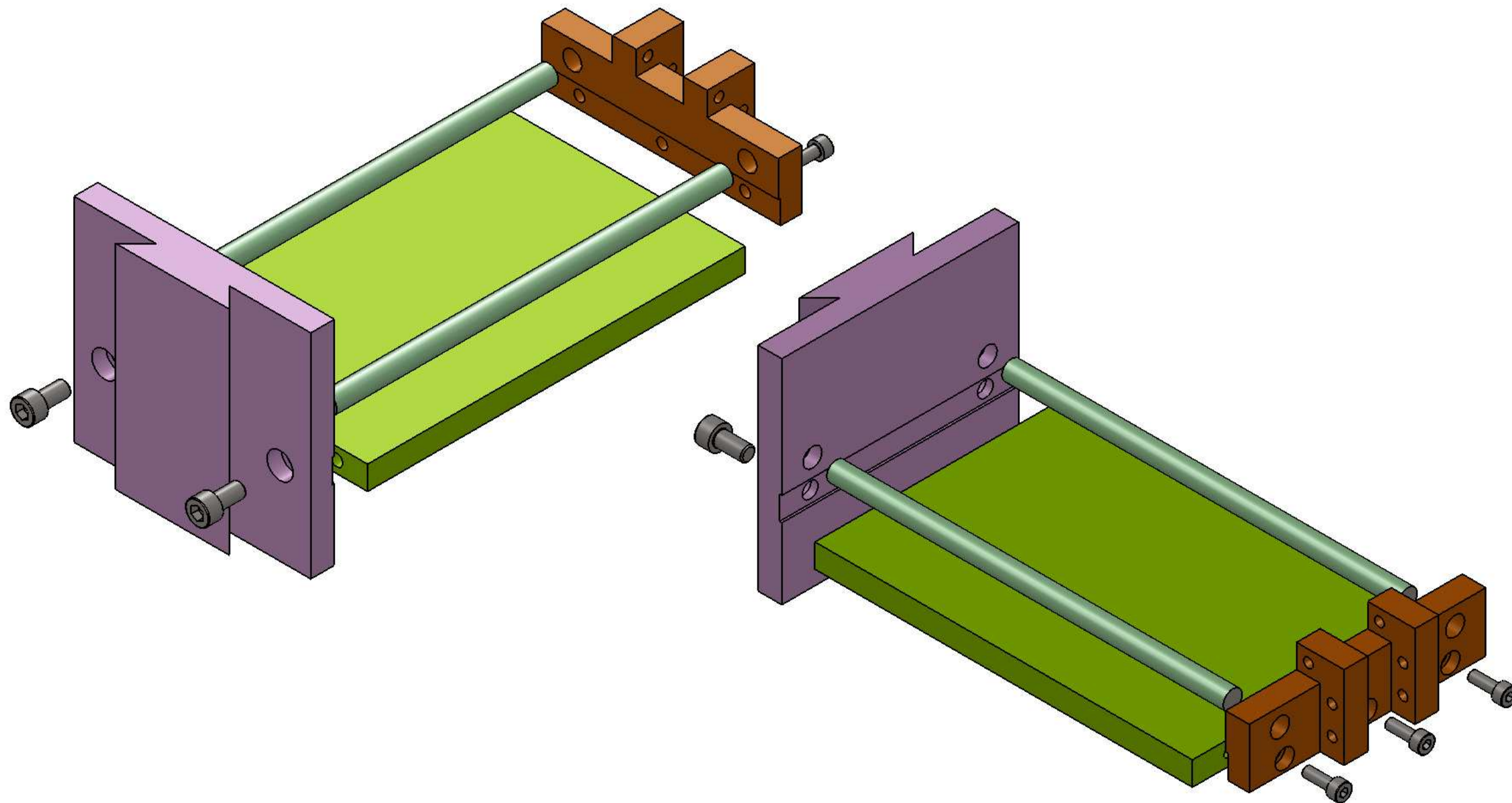
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC			REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PLANO: CONJUNTO SUJECION CILINDRO EXPLOSION			FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
			FECHA: 10/10/2012	Nº PLANO: 27
			ESCALA: 1:1	




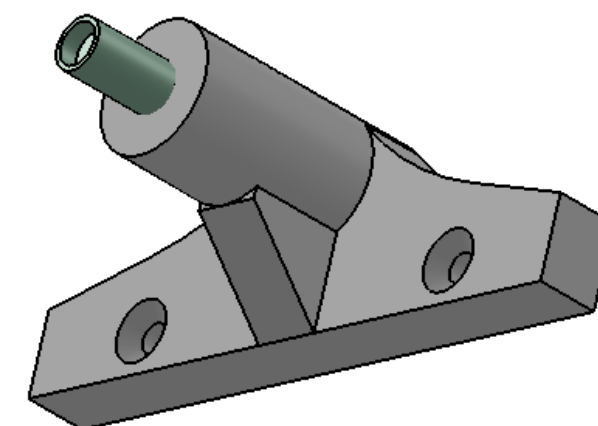
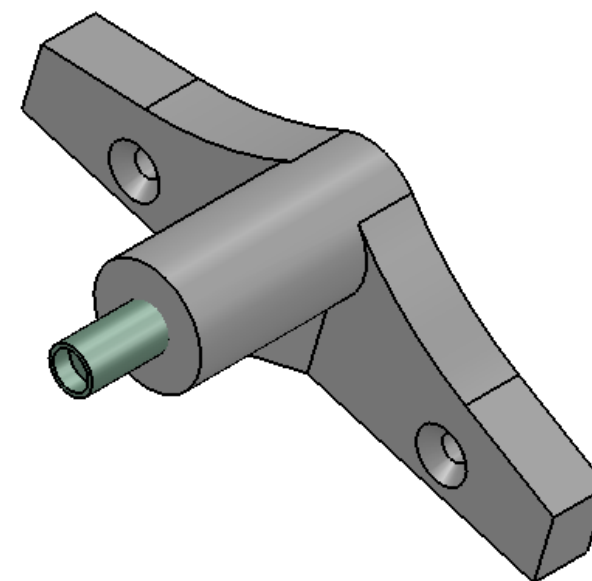
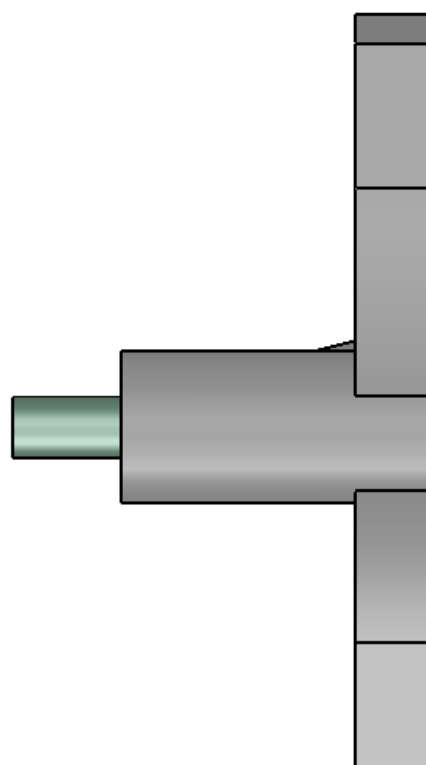
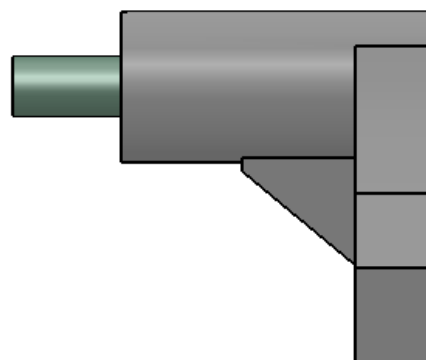
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias $\pm 0.1\text{mm}$ y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FÍSICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1	
PLANO: CONJUNTO CENTRAL		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 28




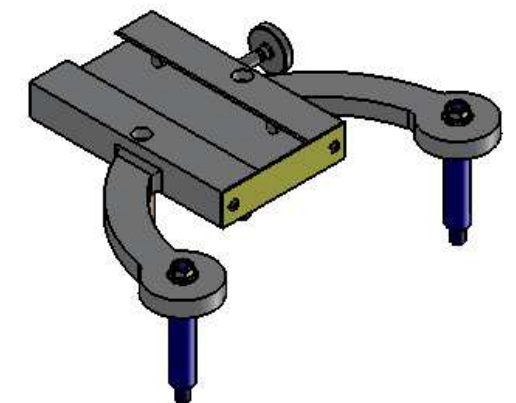
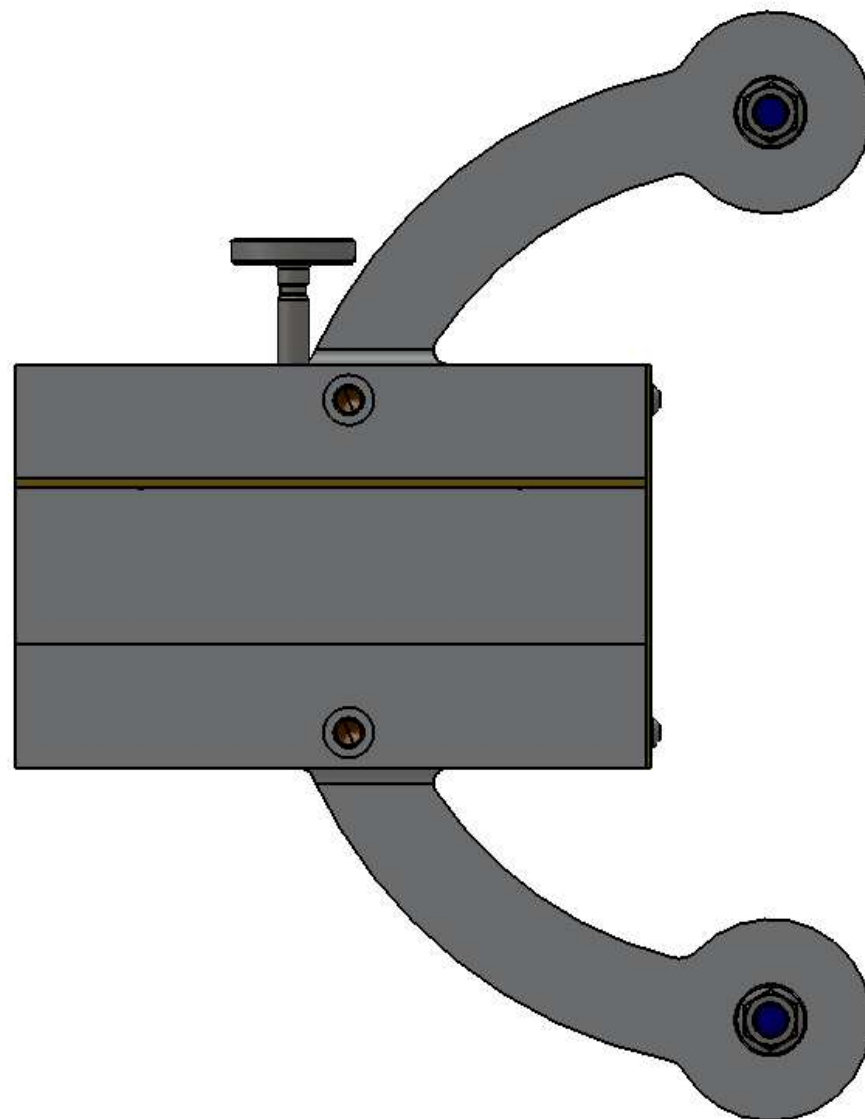
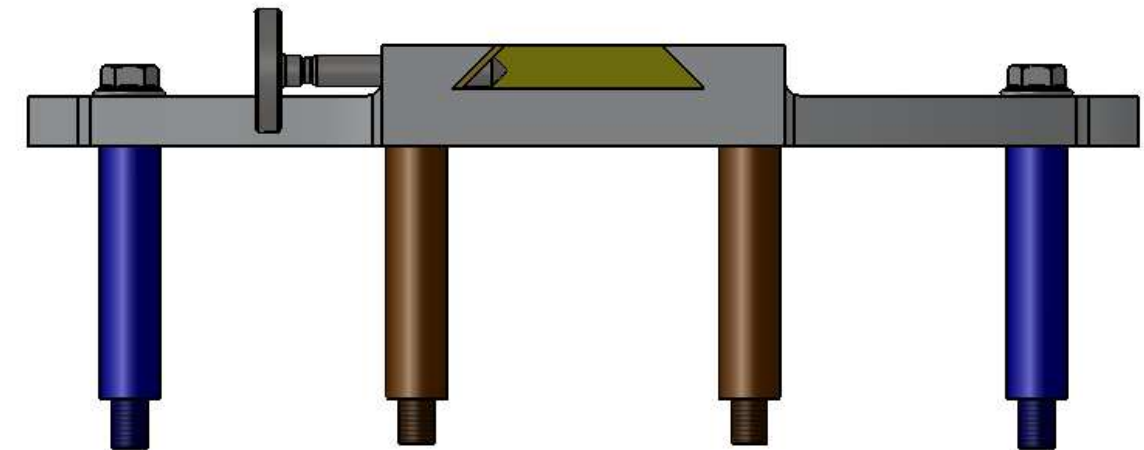
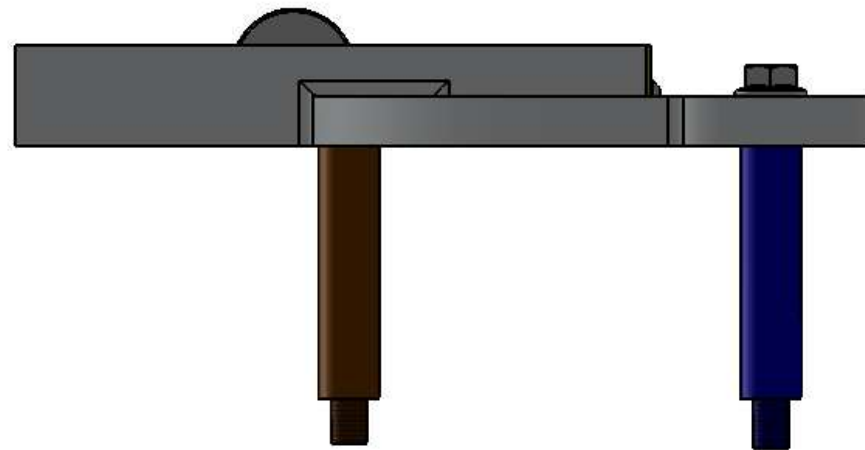
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FÍSICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO: CONJUNTO CENTRAL EXPLOSION		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1 Nº PLANO: 29




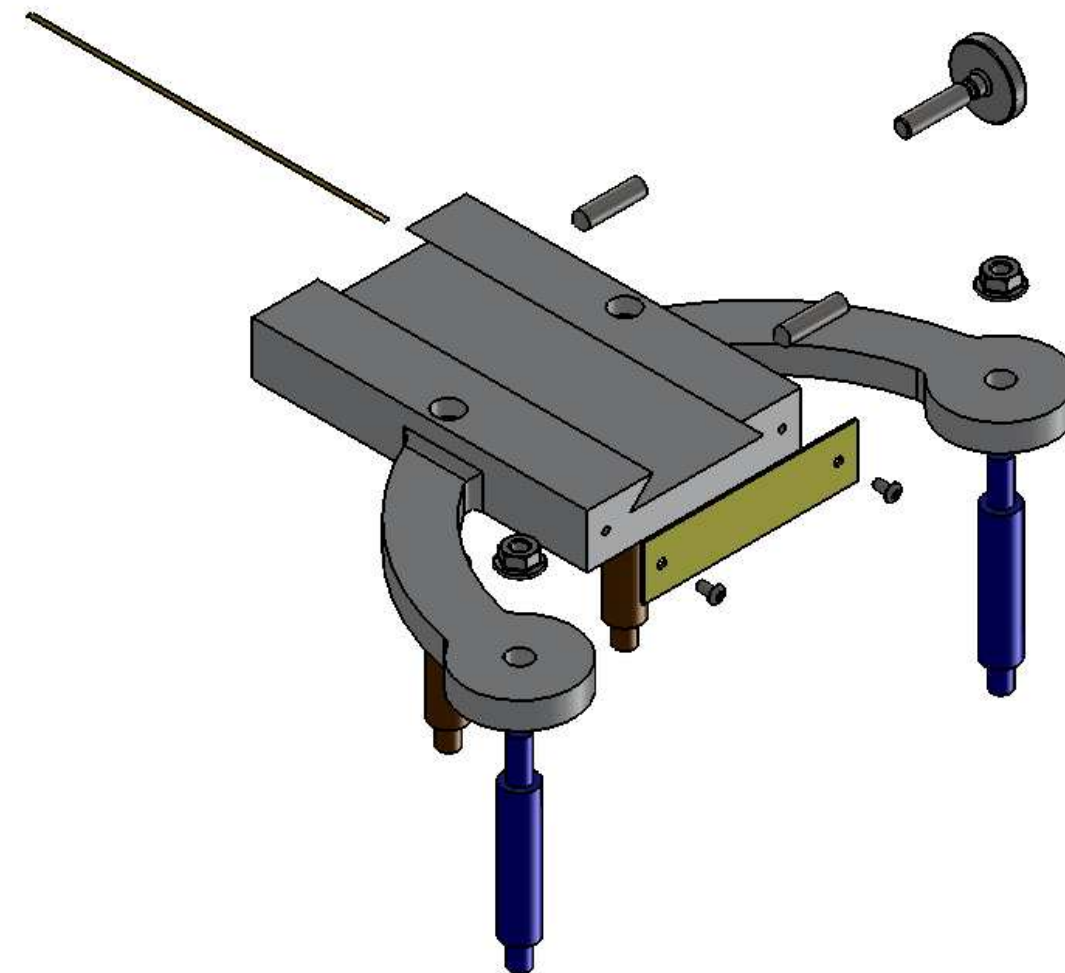
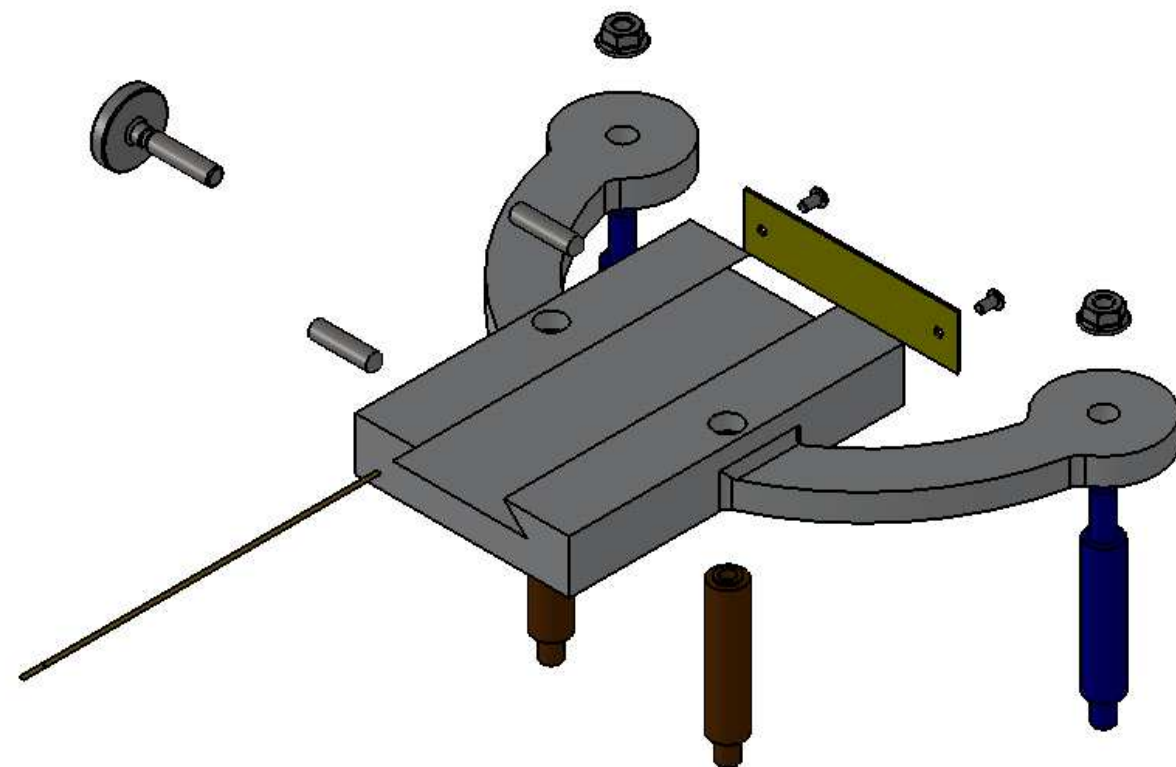
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

	Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
		INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.		
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC			REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
			FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO: CONJUNTO MOV. MICROMETRO			FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1
			Nº PLANO: 30	




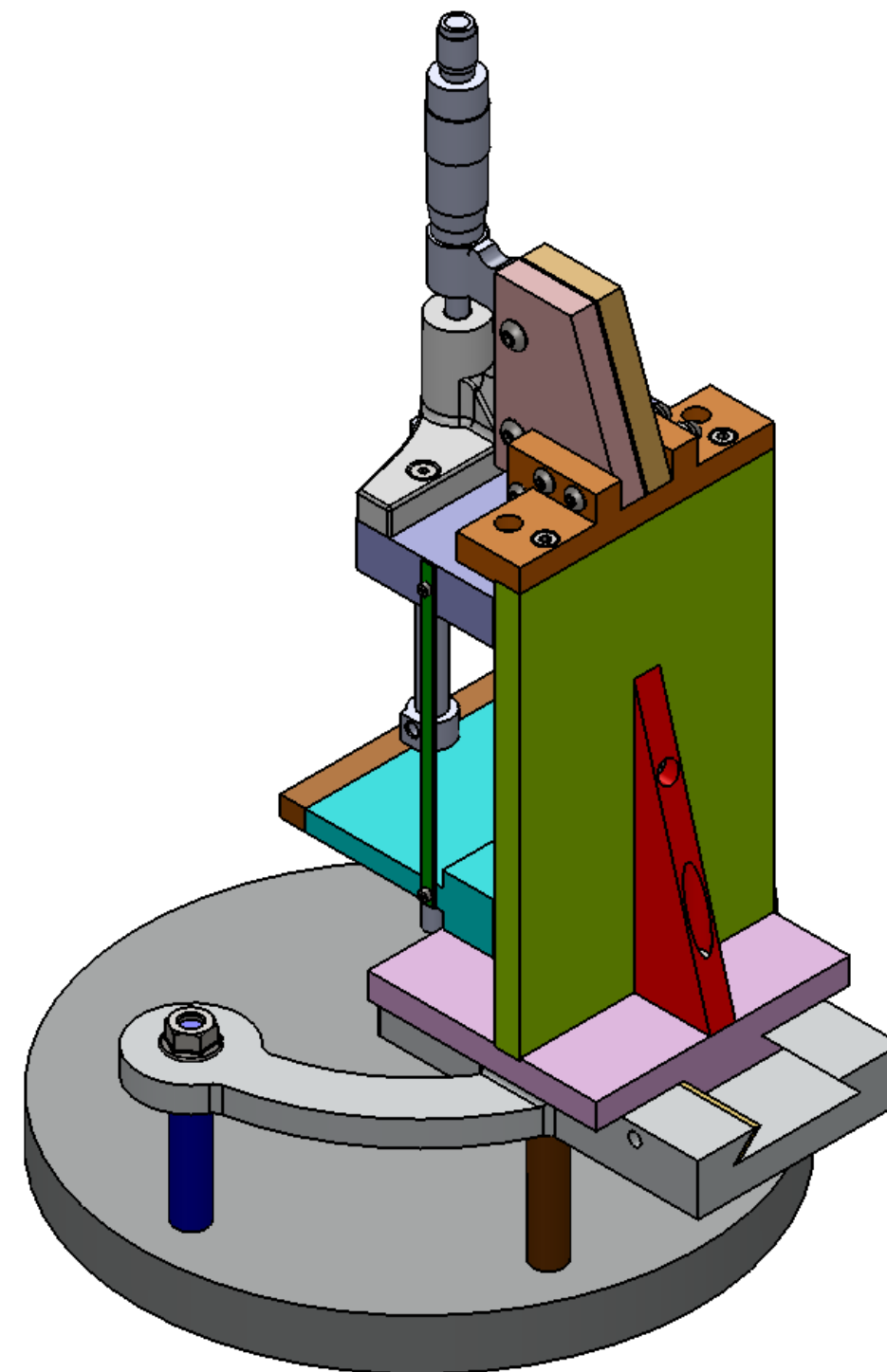
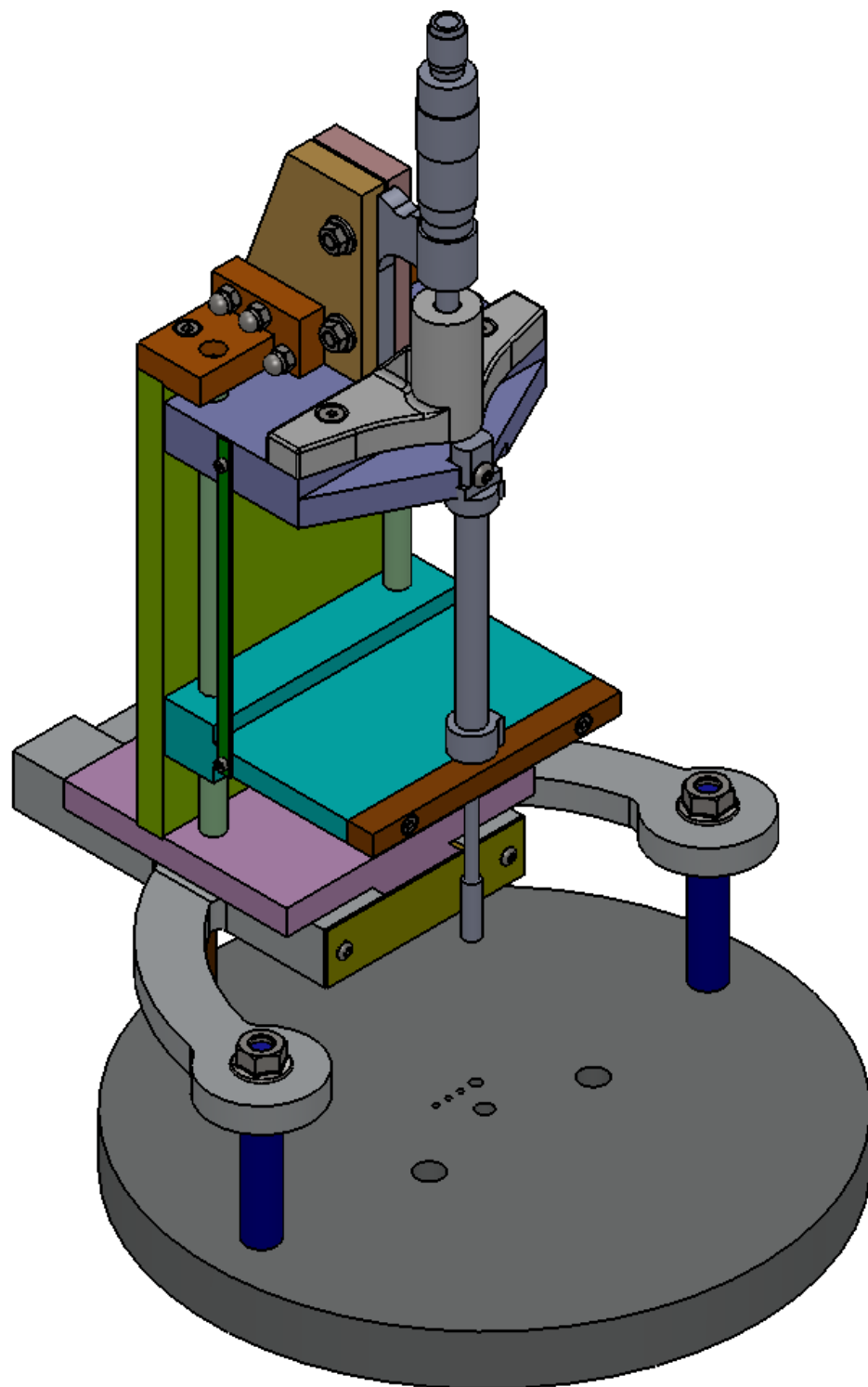
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO: COJUNTO INFERIOR		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1 Nº PLANO: 31



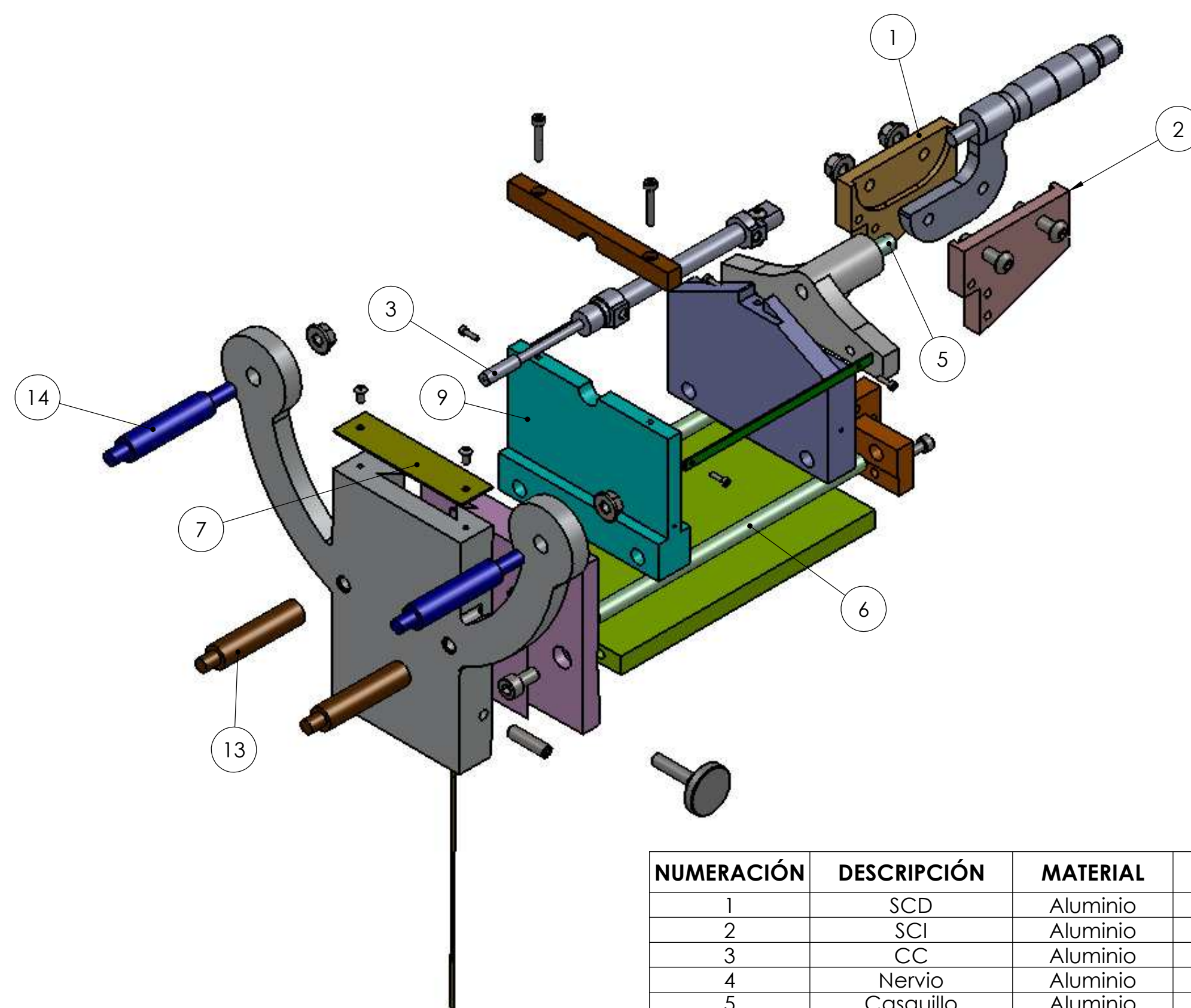
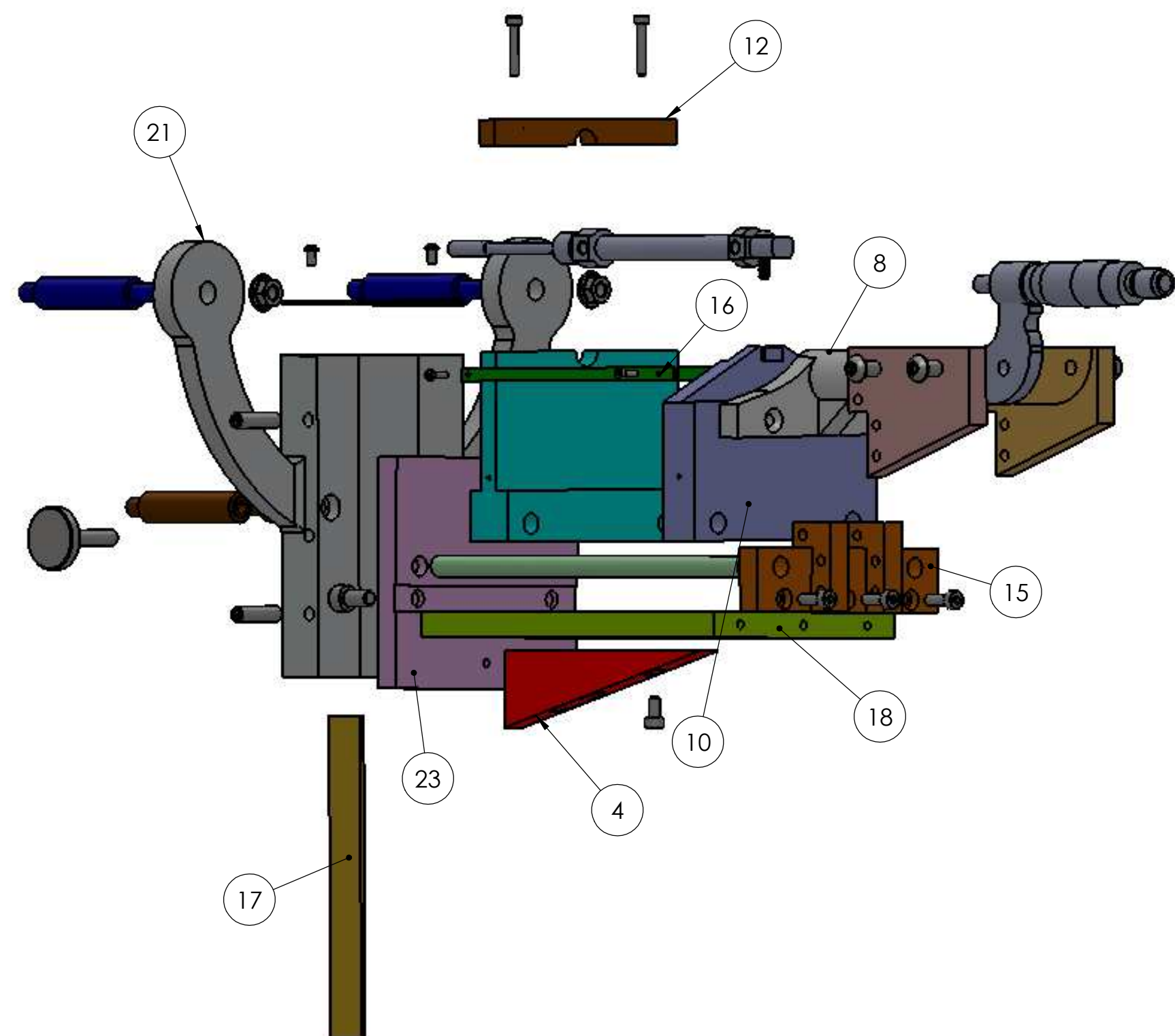
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados. tolerancias +/- 0.1mm y 0.5º

 <div>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</div>	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA		
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.			
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA		
PLANO: CONJUNTO INFERIOR EXPLOSION		FIRMA:		Nº PIEZAS: 1
		FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:1	Nº PLANO: 32




Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FISICA	
	INGENIERO TECNICO INDUSTRIAL M.	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: <h1>SUSCEPTOMETRO AC</h1>		FIRMA:	Nº PIEZAS: 1
PLANO:	CONJUNTO	FECHA: 10/10/2012	ESCALA: 1:2 Nº PLANO: 33



NUMERACIÓN	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	Nº PIEZA
1	SCD	Aluminio	1
2	SCI	Aluminio	1
3	CC	Aluminio	1
4	Nervio	Aluminio	1
5	Casquillo	Aluminio	1
6	VG	Inoxidable	2
7	TP	Aluminio	1
8	AC	Poliamida	1
9	SC P2	Aluminio	1
10	SC P1	Aluminio	1
12	SC P2.2	Aluminio	1
13	ST	Aluminio	2
14	SD	Aluminio	2
15	SCM	Aluminio	1
16	SPC	Aluminio	2
17	PCM	Teflon	1
18	PS	Aluminio	1
21	SCM H	Aluminio	1
23	SCM M	Aluminio	1

Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados, tolerancias +/- 0.1mm y 0.5°

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE FÍSICA
	REALIZADO: CARLOS ALAVA ALAVA	
PROYECTO: SUSCEPTOMETRO AC		FIRMAS: Nº PIEZAS: 1
PLANO: CONJUNTO EXPLOSIONADO		FECHA: 10/10/2012 ESCALA: 1:2 Nº PLANO: 34

Capítulo 5

Anexo II (Propiedades físicas)

PROPIEDADES FÍSICAS DEL NERVIO

Densidad = 2.84 gramos por centímetro cúbico

Masa = 40.95 gramos

Volumen = 14418.57 milímetros³

Área de superficie = 6410.23 milímetros²

Centro de masa: (milímetros)

X = 9.33

Y = 35.63

Z = 0.00



Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el centro de masa.

lx = (-0.14, 0.99, 0.00)

Px = 1800.49

ly = (-0.99, -0.14, 0.00)

Py = 27010.62

lz = (0.00, 0.00, 1.00)

Pz = 28084.27

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 26549.67

Lxy = -3377.58

Lxz = 0.00

Lyx = -3377.58

Lyy = 2261.44

Lyx = -0.00

Lzx = 0.00

Lzy = -0.00

Lzz = 28084.27

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 78536.29

lxy = 10241.60

lxz = 0.00

lyx = 10241.60

lyy = 5829.32

lyz = -0.00

lzx = 0.00

lzy = -0.00

lzz = 83638.77

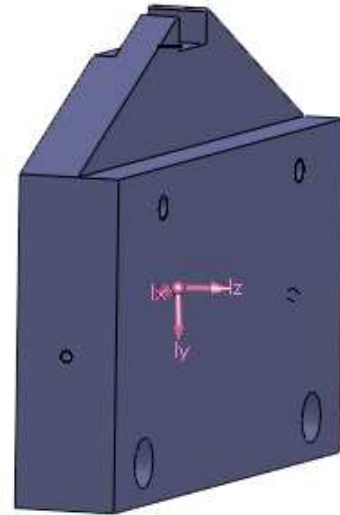
PROPIEDADES FÍSICAS DE PARTE1 PIEZA2

Densidad = 2.84 gramos por centímetro cúbico

Masa = 287.29 gramos

Volumen = 101159.88 milímetros³

Área de superficie = 19684.36 milímetros²



Centro de masa: (milímetros)

X = 8.10

Y = 31.16

Z = -0.01

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)

Medido desde el centro de masa.

lx = (0.00, -0.00, 1.00) Px = 101629.20

ly = (0.04, -1.00, -0.00) Py = 230995.69

lz = (1.00, 0.04, -0.00) Pz = 319360.43

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 319230.28

Lxy = -3388.81

Lxz = 23.60

Lyx = -3388.81

Lyy = 231125.66

Lyz = -153.30

Lzx = 23.60

Lzy = -153.30

Lzz = 101629.38

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 598180.91

lxy = 69166.63

lxz = -6.98

lyx = 69166.63

lyy = 249997.48

lyz = -270.87

lzx = -6.98

lzy = -270.87

lzz = 399451.73

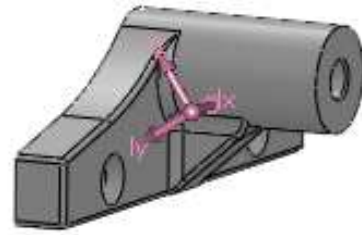
PROPIEDADES FÍSICAS DE PARTE2 PIEZA2

Densidad = 1.12 gramos por centímetro cúbico

Masa = 33.89 gramos

Volumen = 30260.71 milímetros³

Área de superficie = 9509.75 milímetros²



Centro de masa: (milímetros)

X = 0.02

Y = 14.65

Z = 11.21

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el centro de masa.

$I_x = (1.00, -0.00, 0.00)$	$P_x = 6404.25$
$I_y = (0.00, -0.56, -0.83)$	$P_y = 16525.97$
$I_z = (0.00, 0.83, -0.56)$	$P_z = 19977.22$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)
(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

$L_{xx} = 6404.25$	$L_{xy} = -2.74$	$L_{xz} = 2.16$
$L_{yx} = -2.74$	$L_{yy} = 18912.69$	$L_{yz} = 1593.97$
$L_{zx} = 2.16$	$L_{zy} = 1593.97$	$L_{zz} = 17590.50$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 17943.50$	$I_{xy} = 5.11$	$I_{xz} = 8.16$
$I_{yx} = 5.11$	$I_{yy} = 23173.54$	$I_{yz} = 7162.82$
$I_{zx} = 8.16$	$I_{zy} = 7162.82$	$I_{zz} = 24868.91$

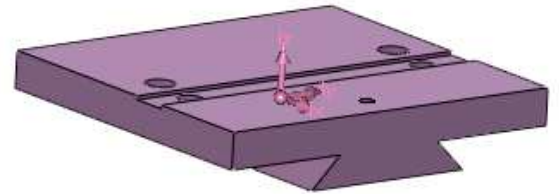
PROPIEDADES FÍSICAS DE PIEZA1-SOPORTE MODIFICADO

Densidad = 2.84 gramos por centímetro cúbico

Masa = 333.11 gramos

Volumen = 117293.31 milímetros³

Área de superficie = 27100.78 milímetros²



Centro de masa: (milímetros)

X = 0.00

Y = 2.50

Z = -0.22

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el centro de masa.

Ix = (0.00, -0.00, 1.00)

Px = 223439.70

Iy = (1.00, 0.00, 0.00)

Py = 237705.01

Iz = (0.00, 1.00, 0.00)

Pz = 444542.87

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 237705.01

Lxy = 0.00

Lxz = 0.00

Lyx = 0.00

Lyy = 444542.59

Lyz = -246.88

Lzx = 0.00

Lzy = -246.88

Lzz = 223439.98

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

Ixx = 239810.55

Ixy = 0.00

Ixz = 0.00

Iyx = 0.00

Iyy = 444558.12

Iyz = -427.02

Izx = 0.00

Izy = -427.02

Izz = 225529.99

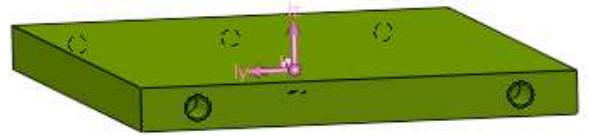
PROPIEDADES FÍSICAS DE PIEZA2-SOPORTE MODIFICADO

Densidad = 2.84 gramos por centímetro cúbico

Masa = 449.94 gramos

Volumen = 158430.95 milímetros³

Área de superficie = 38117.76 milímetros²



Centro de masa: (milímetros)

X = 25.35

Y = 5.00

Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el centro de masa.

lx = (1.00, 0.00, 0.00)

Px = 377971.01

ly = (0.00, 0.00, -1.00)

Py = 949270.17

lz = (0.00, 1.00, 0.00)

Pz = 1319700.75

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 377971.01

Lxy = -0.38

Lxz = 0.00

Lyx = -0.38

Lyy = 1319700.75

Lyz = 0.00

Lzx = 0.00

Lzy = 0.00

Lzz = 949270.17

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 389221.66

lxy = 57031.58

lxz = 0.00

lyx = 57031.58

lyy = 1608807.94

lyz = 0.00

lzx = 0.00

lzy = 0.00

lzz = 1249628.01

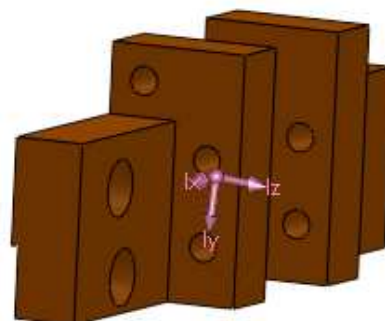
PROPIEDADES FÍSICAS DE PIEZA3-SOPORTE MODIFICADO

Densidad = 2.84 gramos por centímetro cúbico

Masa = 86.36 gramos

Volumen = 30408.35 milímetros³

Área de superficie = 11405.42 milímetros²



Centro de masa: (milímetros)

X = 7.24

Y = 14.92

Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el centro de masa.

lx = (0.00, 0.00, 1.00)

Px = 8941.46

ly = (-0.09, -1.00, 0.00)

Py = 58467.33

lz = (1.00, -0.09, 0.00)

Pz = 63255.24

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 63214.34

Lxy = 440.60

Lxz = 0.00

Lyx = 440.60

Lyy = 58508.23

Lyz = 0.00

Lzx = 0.00

Lzy = 0.00

Lzz = 8941.46

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 82446.46

lxy = 9773.19

lxz = 0.00

lyx = 9773.19

lyy = 63036.97

lyz = 0.00

lzx = 0.00

lzy = 0.00

lzz = 32702.32

PROPIEDADES FÍSICAS DE SOPORTE CILINDRO DELANTERO

Densidad = 2.84 gramos por centímetro cúbico

Masa = 228.91 gramos

Volumen = 80602.19 milímetros³

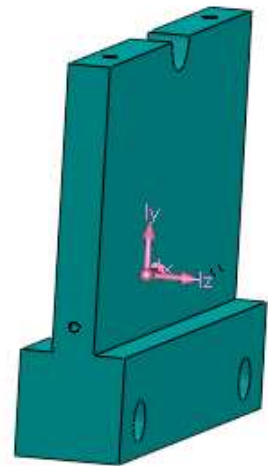
Área de superficie = 21466.41 milímetros²

Centro de masa: (milímetros)

X = 0.00

Y = -20.51

Z = 0.00



Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el centro de masa.

lx = (1.00, 0.00, 0.00) Px = 113012.02

ly = (0.00, 1.00, 0.00) Py = 192730.20

lz = (0.00, 0.00, 1.00) Pz = 297254.84

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)
(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 113012.02	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 192730.20	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 297254.84

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 209300.77	lxy = 0.00	lxz = 0.00
lyx = 0.00	lyy = 192730.20	lyz = 0.00
lzx = 0.00	lzy = 0.00	lzz = 393543.58

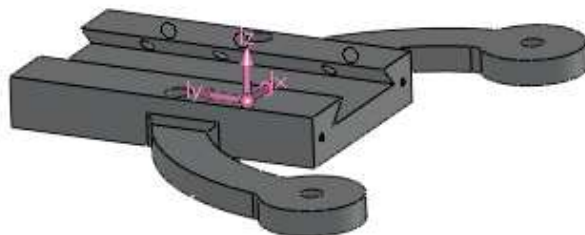
PROPIEDADES FÍSICAS DE SOPORTE COLA DE MILANO

Densidad = 2.84 gramos por centímetro cúbico

Masa = 596.22 gramos

Volumen = 209938.33 milímetros³

Área de superficie = 50909.20 milímetros²



Centro de masa: (milímetros)

X = -72.24

Y = -0.36

Z = 2.46

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el centro de masa.

Ix = (0.02, 1.00, -0.00) Px = 1119217.92

Iy = (-1.00, 0.02, 0.02) Py = 1310057.63

Iz = (0.02, 0.00, 1.00) Pz = 2398776.74

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 1310450.04 Lxy = 3504.48 Lxz = -22327.31

Lyx = 3504.48 Lyy = 1119285.62 Lyz = -1697.97

Lzx = -22327.31 Lzy = -1697.97 Lzz = 2398316.62

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 1314144.85 lxy = 19167.73 lxz = -128393.77

lyx = 19167.73 lyy = 4234142.11 lyz = -2231.95

lzx = -128393.77 lzy = -2231.95 lzz = 5509636.02

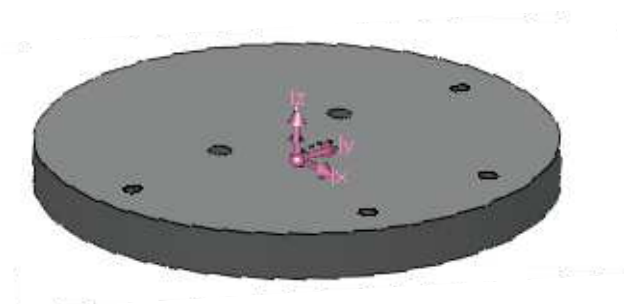
PROPIEDADES FÍSICAS DE TAPA DEWAR

Densidad = 2.84 gramos por milímetro cúbico

Masa = 1816.76 gramos

Volumen = 639705.47 milímetros³

Área de superficie = 104214.55 milímetros²



Centro de masa: (milímetros)

X = -0.85

Y = 147.17

Z = -0.15

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetros²)
Medido desde el centro de masa.

lx = (0.00, 0.00, 1.00)

Px = 6106683.49

ly = (1.00, 0.00, -0.00)

Py = 6123299.51

lz = (0.00, 1.00, -0.00)

Pz = 12109828.65

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

(Medido desde el centro de masa y alineado con el sistema de coordenadas resultante)

Lxx = 6123299.39

Lxy = 1.21

Lxz = 45.58

Lyx = 1.21

Lyy = 12109828.64

Lyz = 236.43

Lzx = 45.58

Lzy = 236.43

Lzz = 6106683.63

Momentos de inercia: (gramos * milímetros²)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

lxx = 45473992.48

lxy = -227294.27

lxz = 276.77

lyx = -227294.27

lyy = 12111182.24

lyz = -39788.28

lzx = 276.77

lzy = -39788.28

lzz = 45458648.90

Capítulo 6

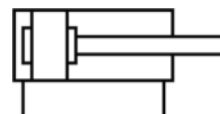
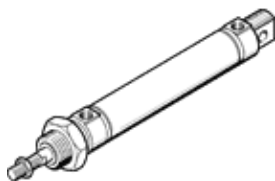
Anexo III(Catálogos)

Cilindros normalizados

DSN-8-50-P

Número pieza: 5036

FESTO



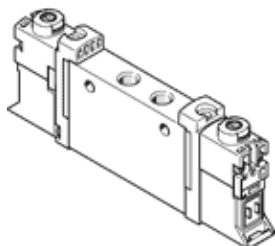
Hoja de datos

Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Carrera	50 mm
Diámetro del émbolo	8 mm
Rosca del vástago	M4
Amortiguación	P: Amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremo del vástago	Rosca exterior
Construcción	Émbolo Vástago Camisa del cilindro
Detección de la posición	Sin
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	1,5 ... 10 bar
Forma de funcionamiento	De efecto doble
Fluido	Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energía del impacto en las posiciones finales	0,03 J
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	22,6 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	30,2 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	7,5 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	2,4 g
Peso básico con carrera de 0 mm	34,6 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	1 g
Tipo de fijación	con accesorios
Conexión neumática	M5
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de la tapa	Aleación forjable de aluminio Anodizado incoloro
Información sobre el material de las juntas	NBR TPE-U(PU)
Información sobre el material del vástago	Acero inoxidable de aleación fina
Información sobre el material de la camisa del cilindro	Acero inoxidable de aleación fina

Electroválvula VUVG

Número pieza: 564212

FESTO



Hoja de datos

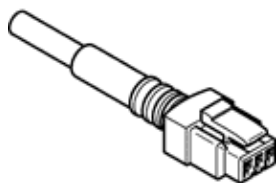
Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Plazo de entrega de 1 semana
Función de las válvulas	2x3/2 cerradas monoestables 2x3/2 abiertas monoestables 2x3/2 abiertas/cerradas monoestables 5/2 biestable 5/2 monoestable 5/3 a presión 5/3 a descarga 5/3 cerrada
Tipo de accionamiento	eléctrico
Ancho	10 mm 14 mm
Caudal nominal normal	90 ... 780 l/min
Presión de funcionamiento	-0,9 ... 10 bar
Construcción	Corredera
Tipo de reposición	muelle mecánico muelle neumático
Tipo de protección	IP40 IP65 con conector tipo zócalo
Función de escape	Estrangulable
Principio de hermetización	blando
Posición de montaje	indistinto
Accionamiento manual auxiliar	con enclavamiento mediante pulsador cubierto
Tipo de control	prepilotado
Alimentación del aire de control	externo interno
Duración de la conexión	100%
Fluctuación de tensión permisible	+/- 10 %
Fluido	Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Limitación de la temperatura ambiente y la temperatura de medios	-5 - 50 °C Sin reducción de la corriente de parada
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2
Temperatura del medio	-5 ... 60 °C
Temperatura ambiente	-5 ... 60 °C
Conexión eléctrica	Mediante placa base eléctrica

Caracter.	Propiedades
Tipo de fijación	a elegir: Sobre regleta de bornes con taladro pasante
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de las juntas	HNBR NBR
Información sobre el material del cuerpo	Aleación forjable de aluminio

Conector tipo zócalo con cable NEBV-H1G2-P-2.5-N-LE2

Número pieza: 566660

FESTO



Hoja de datos

Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Posición de montaje	indistinto
Característica de la línea	Apropiado para cadenas de arrastre
Margen de tensión de funcionamiento DC	0 ... 30 V
Tipo de protección	IP40
Temperatura ambiente	-5 ... 60 °C
Peso del producto	35 g
Conexión eléctrica	Conector tipo zócalo 2 contactos
Longitud del cable	2,5 m
Tipo de fijación	Clip
Código de color para el aislamiento de los hilos	Pin 1 = negro Pin 3 = rojo
color del cuerpo	Negro
Color de la cubierta del cable	Gris
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material del cuerpo	POM
información sobre el material, revestimiento aislante	PVC
Información sobre el material de la cubierta del cable	PUR
Información sobre el material del contacto crimp	Aleación de cobre estañado

Válvula de estrangulación y antirretorno GRLA-M5-QS-4-RS-D

Número pieza: 197577

FESTO



Hoja de datos

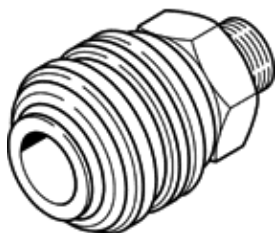
Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Función de las válvulas	Válvula reguladora de caudal, antirretorno del escape
Conexión neumática 1	QS-4
Conexión neumática 2	M5
Elemento de ajuste	Tornillo moleteado
Tipo de fijación	atornillable
Caudal nominal normal en el sentido de la estrangulación	110 l/min
Caudal nominal normal en el sentido del antirretorno	65 ... 110 l/min
Presión de funcionamiento	0,2 ... 10 bar
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Homologación	Germanischer Lloyd
Posición de montaje	indistinto
Caudal estándar en sentido de regulación del flujo: 6 → 0 bar	165 l/min
Caudal estándar en sentido de bloqueo: 6 → 0 bar	140 ... 160 l/min
Fluido	Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Temperatura del medio	-10 ... 60 °C
Par de apriete máximo	1,5 Nm
Peso del producto	14 g
Información sobre el material de la chaveta atornillable	latón
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material de las juntas	NBR
Datos sobre el material del anillo de liberación	POM
Datos sobre el material del tornillo de regulación	Acero inoxidable de aleación fina
Datos sobre el material de la junta basculante	Fundición inyectada de cinc cromado

Acoplamiento hembra

KD4-1/4-A-R

Número pieza: 531694

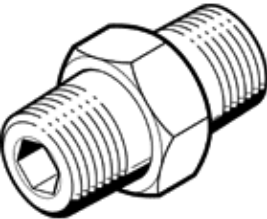
FESTO



Hoja de datos

Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Diámetro nominal	8 mm
Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura	-0,95 ... 12 bar
Caudal nominal normal	765 l/min
Fluido	Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:-:-]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1
Temperatura ambiente	-10 ... 80 °C
Par de apriete máximo	11 Nm
Peso del producto	58 g
Conexión neumática 1	Rosca exterior G1/4

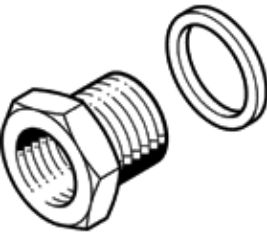
Boquilla doble
ESK-1/8-1/4
Número pieza: 534151



Hoja de datos

Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Conexión neumática 1	R1/8
Conexión neumática 2	R1/4
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
información sobre material boquilla doble	latón

Boquilla reductora
D-1/2I-1A
Número pieza: 197634

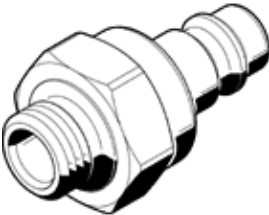


Hoja de datos

Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Conexión neumática 1	G1/2
Conexión neumática 2	G1
información sobre material boquilla reductora	latón

Conector del acoplamiento KS4-1/4-A-R

Número pieza: 531677



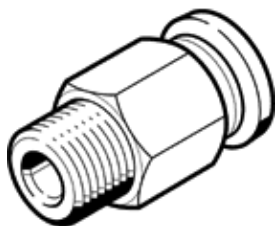
Hoja de datos

Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Diámetro nominal	8 mm
Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura	-0,95 ... 12 bar
Caudal nominal normal	765 l/min
Fluido	Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:-:-]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Par de apriete máximo	11 Nm
Peso del producto	46 g
Conexión neumática 1	Rosca exterior G1/4

Racor rápido roscado QS-1/8-4

Número pieza: 153001

FESTO



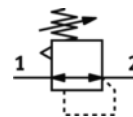
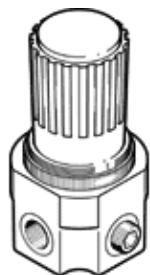
Hoja de datos

Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Tamaño	Estándar
Diámetro nominal	2,6 mm
Tipo de junta del eje atornillable	Recubrimiento
Posición de montaje	indistinto
Tamaño del depósito	10
Construcción	Principio de empuje y tracción
Presión de funcionamiento en función de la temperatura	-0,95 ... 14 bar
Fluido	Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:::-]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1
Temperatura ambiente	-10 ... 80 °C
Homologación	Germanischer Lloyd
Par de apriete máximo	7 Nm
Peso del producto	8,5 g
Conexión neumática	Rosca exterior R1/8 para diámetro exterior del tubo flexible de 4 mm
Color del anillo extractor	azul
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Información sobre el material del cuerpo	latón niquelado
Datos sobre el material del anillo de liberación	POM
Información sobre el material de la junta del tubo flexible	NBR
Datos sobre el material del segmento de sujeción del tubo flexible	Acero inoxidable de aleación fina

Regulador de presión LR-1/8-G-7

Número pieza: 159506

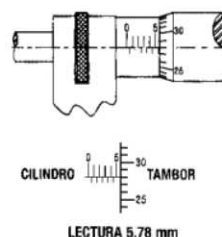
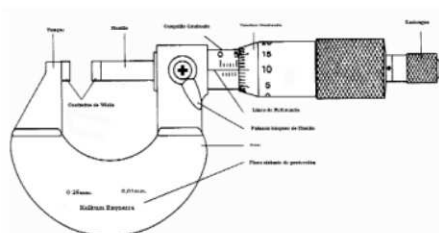
FESTO



Hoja de datos

Caracter.	Propiedades
	Producto de serie Disponible desde almacén
Asegurar el accionamiento	Botón giratorio con enclavamiento
Posición de montaje	indistinto
Construcción	Regulador de diafragma con alimentación continua de aire comprimido
Función del regulador	Presión inicial con compensación de la presión primaria con escape secundario
Indicación de la presión	preparado para G1/8"
Presión de funcionamiento	1 ... 20 bar
Margen de regulación de la presión	0,5 ... 7 bar
Histéresis máxima de la presión	0,2 bar
Caudal nominal normal	700 l/min
Fluido	Aire comprimido según ISO8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Temperatura de almacenamiento	-10 ... 80 °C
Temperatura del medio	-10 ... 80 °C
Temperatura ambiente	-10 ... 80 °C
Peso del producto	320 g
Tipo de fijación	Montaje en panel frontal Montaje del conducto con accesorios
Conexión neumática 1	G1/8
Conexión neumática 2	G1/8
Información sobre el material de las juntas	NBR
Información sobre el material del cuerpo	latón

Micrómetros/ Micrometers



MI CRÓMETROS EXTERIORES FIJOS/ OUTSIDE MICROMETER

Contactos de metal duro-widia. Casquillo y tambor cromados. Con embrague y palanca de bloqueo. Arcos de acero estabilizado. Provistos de placas aislantes. Fuerza de medición: 5-10 N. Con barreta patrón incluida. Fabricados conforme a la norma DIN 863. Suministrados en estuche. Para medidas y accesorios fuera de catálogo consulte con fábrica.

Carbide steel tips. Spindle lock. Reading 0,01mm. Accuracy Din 863. Abs case.



Arco Pintado/ Painted frame

Apreciación centesimal 0,01 mm.

código	capacidad mm.	precio en €
10.10.0.11	0-25	16,60
10.10.0.12	25-50	27,50
10.10.0.13	50-75	35,33
10.10.0.14	75-100	38,70
10.10.0.15	100-125	46,17
10.10.0.16	125-150	53,00
10.10.0.17	150-175	59,67
10.10.0.18	175-200	72,83
10.10.0.19	200-225	82,33
10.10.0.20	225-250	91,67
10.10.0.21	250-275	112,83
10.10.0.22	275-300	125,17



Arco Cromado/ Chromed frame

Apreciación centesimal 0,01 mm.

código	capacidad mm.	precio en €
10.15.0.11	0-25	21,55
10.15.0.12	25-50	28,80
10.15.0.13	50-75	37,41
10.15.0.14	75-100	41,80



De fricción/ Friction Thimble

Con embrague en el tambor

Apreciación centesimal 0,01 mm.

código	capacidad mm.	precio en €
10.13.0.11	0-25	24,73
10.13.0.12	25-50	30,20
10.13.0.13	50-75	39,33
10.13.0.14	75-100	45,27



37 Cierre de Tracción

Flexible · Serie Over-center · Con palanca

- Flexible de gran resistencia
- Mecanismo de detención
- Absorbe y reduce vibraciones

Material y Acabado

Caucho EPDM y nylon negro reforzado con fibra de vidrio, pasadores en acero inoxidable

Resistencia

Fuerza de apriete:

Cierre de gran resistencia: 350 N

Pequeño: 110 N

Grande: 190 N

Temperaturas operativas límite:
-40°C hasta 80°C

Clasificación de resistencia a la llama: UL94-HB

Instalación

Cierre de gran resistencia:

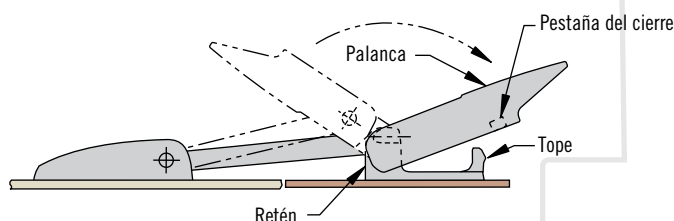
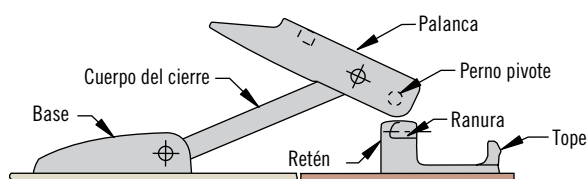
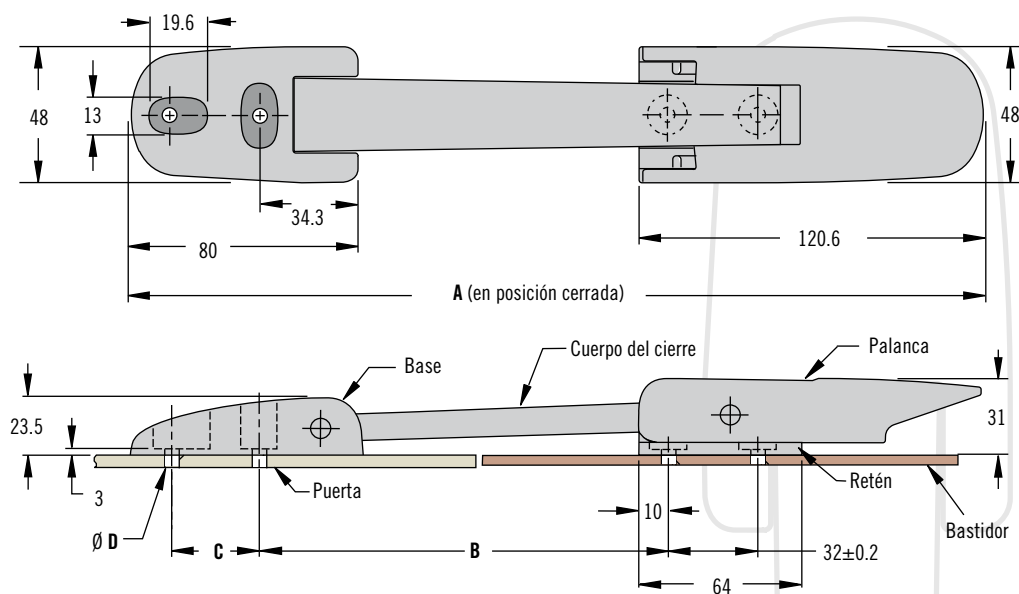
Instalar el conjunto con remaches Ø 6 ó tornillos M6 (no suministrados)

Pequeño y Grande:

Instalar el conjunto con remaches Ø 5 ó tornillos M5 (no suministrados)

Nota

5 Máx. de desplazamiento no coplanario entre la superficie de la puerta en el lado del cierre y bastidor



Referencia

Ver tabla

Conjunto completo con retén

Referencia	Dimensiones			
	A	B	C±0.2	D±0.1
37-30-294-60	254	97±3	25.4	5.5
37-30-297-60	379	222±6)		
Cierre de gran resistencia				
37-40-295-60	300	144±4	32	6.6

Dimensiones en milímetros a menos que se indique de otra forma

Topes Cilíndricos - Serie TS - TS 16-10 (M-5)

Topes Cilíndricos. Serie TS.

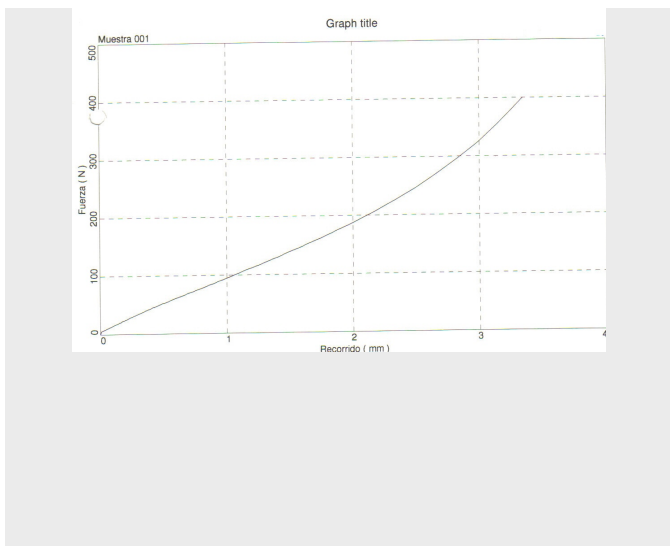
Imagen



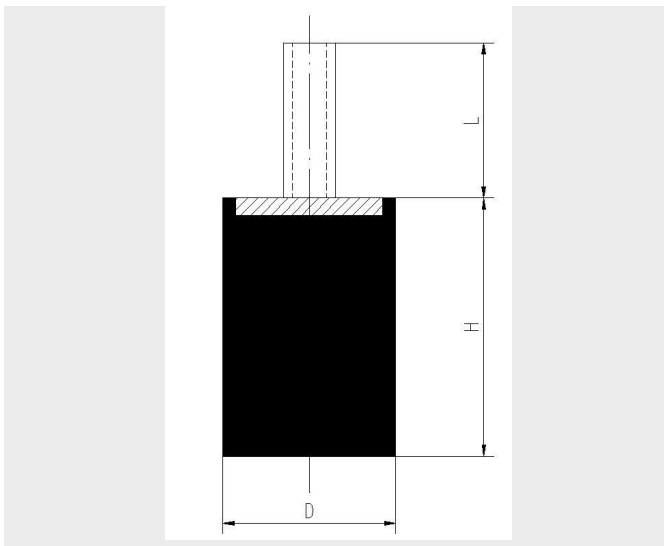
Ficha Técnica

- Dureza Dureza 50 Shore
- Carga Kgs. 20
- Flecha m/m 1,5
- Métrica y Largo de espiga (L) M-5 x 12
- H m/m 10
- D m/m 16

Gráfica



Dibujo



INSTRUCTION MANUAL

BOP 36-12ML

BIPOLAR OPERATIONAL POWER SUPPLY

KEPCO INC.
An ISO 9001 Company.

MODEL
BOP 36-12ML
POWER SUPPLY
INSTRUCTION MANUAL



ORDER NO.

MM72420

REV. NO.

29

IMPORTANT NOTES:

- 1) This manual is valid for the following Model and associated serial numbers:

MODEL	SERIAL NO.	REV. NO.
-------	------------	----------
- 2) A Change Page may be included at the end of the manual. All applicable changes and revision number changes are documented with reference to the equipment serial numbers. Before using this Instruction Manual, check your equipment serial number to identify your model. If in doubt, contact your nearest Kepco Representative, or the Kepco Documentation Office in New York, (718) 461-7000, requesting the correct revision for your particular model and serial number.
- 3) The contents of this manual are protected by copyright. Reproduction of any part can be made only with the specific written permission of Kepco, Inc.

Data subject to change without notice.

©2009, KEPKO, INC.
P/N 243-0716



KEPCO®
THE POWER SUPPLIER™

KEPCO, INC. • 131-38 SANFORD AVENUE • FLUSHING, NY. 11352 U.S.A. • TEL (718) 461-7000 • FAX (718) 767-1102
email: hq@kepcopower.com • World Wide Web: <http://www.kepcopower.com>

TABLE 1. BOP 36-12ML AND BOP 36-12DL SPECIFICATIONS

Bandwidth (DC to f-3dB)		Rise/Fall Time ⁽²⁾	Recovery at Step Load ⁽³⁾	Load Effect Nominal Resistive Load ⁽⁴⁾
Resistive Load, Nominal	Inductive Load, 2mH			
11 KHz	5.6 KHz	40µS	40µS	6 ppm/Hz
NOTES: (1) Specifications listed are for Current Mode. All other specifications are identical to the standard BOP. (2) 10%-90%, short-circuit. (3) Short-circuit - Nominal Resistive Load. (4) Load effect increases nonlinearly with frequency from the typical 0.5 mA in DC- full scale (same as the standard unit) with the average rate listed.				

In current mode the bandwidth is reduced when operating with a resistive load. Correspondingly, the rise and fall time of the unit is increased.

If the load impedance at the working frequency multiplied by the peak value of current equals the voltage limit setting, it is recommended that the output voltage be kept below the voltage limit setting to avoid inducing a large distortion of output current. If the voltage limit is reached, the unit's bandwidth can be reduced by connecting an external film capacitor between pins 16 and 18 of the unit's programming connector (PC 12). Table 2 below shows the effect that adding the external capacitor has on the 3dB bandwidth for resistive, resistive-inductive or inductive loads, with less than 10% tolerance (excluding the capacitor tolerance)

TABLE 2. BANDWIDTH CORRECTION

	EXTERNAL CAPACITOR (ACROSS PINS 16 AND 18 OF PC 12 PROGRAMMING CONNECTOR)						
	0.01 µF	0.02 µF	0.05 µF	0.1 µF	0.2 µF	0.5 µF	1 µF
CORRECTED BANDWIDTH	4 KHz	3 KHz	1.0 KHz	0.5 KHz	0.25 KHz	0.1 KHz	0.06 KHz

1-9 ELECTRICAL SPECIFICATIONS, PERFORMANCE

A) OUTPUT RANGES: See Table 1-1

MODEL	d-c OUTPUT RANGE		CLOSED LOOP GAIN		OUTPUT IMPEDANCE			
	E_o max.	I_o max.	VOLTAGE CHANNEL G_V (V/V)	CURRENT CHANNEL G_I (A/V)	VOLTAGE MODE SERIES R	VOLTAGE MODE SERIES L	CURRENT MODE SHUNT R	CURRENT MODE SHUNT C
100 WATT								
BOP 20-5M	± 20V	± 5A	2.0	0.5	80μΩ	20μH	40kΩ	0.05μF
BOP 50-2M	± 50V	± 2A	5.0	0.2	0.5mΩ	100μH	50kΩ	0.05mF
BOP 100-1M	±100V	± 1A	10.0	0.1	2.0mΩ	200μH	100kΩ	0.05mF
200 WATT								
BOP 20-10M	± 20V	±10A	2.0	1.0	40μΩ	50μH	20kΩ	0.1mF
BOP 36-6M	± 36V	± 6A	3.6	0.6	120μΩ	50μH	36kΩ	0.1mF
BOP 50-4M	± 50V	± 4A	5.0	0.4	0.25mΩ	100μH	50kΩ	0.05mF
BOP 72-3M	± 72V	± 3A	7.2	0.3	0.48mΩ	200μH	72kΩ	0.05mF
BOP 100-2M	±100V	± 2A	10.0	0.2	1.0mΩ	200μH	100kΩ	0.05mF
BOP 200-1M ⁽¹⁾	±200V	± 1A	20.0	0.1	4.0mΩ	1.2mH	200kΩ	0.03mF
400 WATT								
BOP 20-20M	± 20V	±20A	2.0	2.0	20μΩ	50μH	20kΩ	0.2mF
BOP 36-12M	± 36V	±12A	3.6	1.2	60μΩ	50μH	36kΩ	0.2mF
BOP 50-8M	± 50V	± 8A	5.0	0.8	125μΩ	100μH	50kΩ	0.15mF
BOP 72-6M	± 72V	± 6A	7.2	0.6	240μΩ	200μH	72kΩ	0.1mF
BOP 100-4M	±100V	± 4A	10.0	0.4	500μΩ	200μH	100kΩ	0.1mF

(1) Same size as 400W models

TABLE 1-1 OUTPUT RANGE AND OUTPUT IMPEDANCE

B) OUTPUT EFFECTS: See Table 1-2.

STATIC SPECIFICATIONS

INFLUENCE QUANTITY	OUTPUT EFFECTS ⁽¹⁾				PREAMPLIFIER ⁽²⁾ OFFSETS		REFERENCE ± 10V
	VOLTAGE MODE TYPICAL	VOLTAGE MODE MAXIMUM	CURRENT MODE TYPICAL	CURRENT MODE MAXIMUM	ΔE _{io}	ΔI _{io}	
SOURCE VOLTAGE (min-max):	< 0.0005%	0.001%	< 0.002%	0.005%	< 5μV	< 1nA	< 0.0005%
LOAD (No Load-full load):	< 0.001%	0.002%	< 0.5mA	1mA	—	—	< 0.0005%
TIME (8-hour drift):	< 0.005%	0.01%	< 0.01%	0.02%	< 20μV	< 1nA	< 0.005%
TEMPERATURE, per °C:	< 0.005%	0.01%	< 0.01%	0.02%	< 20μV	< 1nA	< 0.005%
RIPPLE and NOISE: ⁽²⁾	rms	< 1mV	3mV ⁽⁴⁾	< 0.01%	0.03%	—	—
	p-p ⁽³⁾	< 10mV	30mV ⁽⁴⁾	< 0.1%	0.3%	—	—

(1) Output effects, expressed as a percentage, are referred to the maximum rated output voltage or current.

(2) Measured with the common terminal grounded so that the common mode current does not flow through the load.

(3) Peak-to-peak ripple is measured over a 20 Hz to 10 MHz bandwidth.

(4) For BOP 200-1M the maximum ripple and noise is 5mV rms and 50mV p-p.

(5) To permit calculation of the effect of non-standard control current (less than the normal 1 mA) or non-standard gain ratios.

TABLE 1-2 OUTPUT EFFECTS, OFFSETS AND REFERENCE SPECIFICATIONS.

MODEL SR830

DSP Lock-In Amplifier



1290-D Reamwood Avenue
Sunnyvale, California 94089
Phone: (408) 744-9040 • Fax: (408) 744-9049
email: info@thinkSRS.com • www.thinkSRS.com

Copyright © 1993 by SRS, Inc.
All Rights Reserved.

Revision 2.4 (6/2009)

SPECIFICATIONS

SIGNAL CHANNEL

Voltage Inputs	Single-ended (A) or differential (A-B).
Current Input	10^6 or 10^8 Volts/Amp.
Full Scale Sensitivity	2 nV to 1 V in a 1-2-5-10 sequence (expand off).
Input Impedance	Voltage: 10 M Ω +25 pF, AC or DC coupled. Current: 1 k Ω to virtual ground.
Gain Accuracy	$\pm 1\%$ from 20°C to 30°C (notch filters off), $\pm 0.2\%$ Typical.
Input Noise	6 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz (typical).
Signal Filters	60 (50) Hz and 120(100) Hz notch filters (Q=4).
CMRR	100 dB to 10 kHz (DC Coupled), decreasing by 6db/octave above 10 kHz
Dynamic Reserve	Greater than 100 dB (with no signal filters).
Harmonic Distortion	-80 dB.

REFERENCE CHANNEL

Frequency Range	1 mHz to 102 kHz
Reference Input	TTL (rising or falling edge) or Sine. Sine input is 1 M Ω , AC coupled (>1 Hz). 400 mV pk-pk minimum signal.
Phase Resolution	0.01°
Absolute Phase Error	<1°
Relative Phase Error	<0.01°
Orthogonality	90° \pm 0.001°
Phase Noise	External synthesized reference: 0.005° rms at 1 kHz, 100 ms, 12 dB/oct. Internal reference: crystal synthesized, <0.0001° rms at 1 kHz.
Phase Drift	<0.01°/°C below 10 kHz <0.1°/°C to 100 kHz
Harmonic Detect	Detect at Nxf where $N < 19999$ and $Nxf < 102$ kHz.
Acquisition Time	(2 cycles + 5 ms) or 40 ms, whichever is greater.

DEMODULATOR

Zero Stability	Digital displays have no zero drift on all dynamic reserves. Analog outputs: <5 ppm/°C for all dynamic reserves.
Time Constants	10 μ s to 30 s (reference > 200 Hz). 6, 12, 18, 24 dB/oct rolloff. up to 30000 s (reference < 200 Hz). 6, 12, 18, 24 dB/oct rolloff. Synchronous filtering available below 200 Hz.
Harmonic Rejection	-80 dB

INTERNAL OSCILLATOR

Frequency	1 mHz to 102 kHz.
Frequency Accuracy	25 ppm + 30 μ Hz
Frequency Resolution	4 1/2 digits or 0.1 mHz, whichever is greater.
Distortion	$f < 10$ kHz, below -80 dBc. $f > 10$ kHz, below -70 dBc. 1 Vrms amplitude.
Output Impedance	50 Ω
Amplitude	4 mVrms to 5 Vrms (into a high impedance load) with 2 mV resolution. (2 mVrms to 2.5 Vrms into 50 Ω load).
Amplitude Accuracy	1%
Amplitude Stability	50 ppm/°C
Outputs	Sine output on front panel. TTL sync output on rear panel. When using an external reference, both outputs are phase locked to the external reference.

SR830 DSP Lock-In Amplifier

DISPLAYS

Channel 1	4 1/2 digit LED display with 40 segment LED bar graph. X, R, X Noise, Aux Input 1 or 2. The display can also be any of these quantities divided by Aux Input 1 or 2.
Channel 2	4 1/2 digit LED display with 40 segment LED bar graph. Y, θ , Y Noise, Aux Input 3 or 4. The display can also be any of these quantities divided by Aux Input 3 or 4.
Offset	X, Y and R may be offset up to $\pm 105\%$ of full scale.
Expand	X, Y and R may be expanded by 10 or 100.
Reference	4 1/2 digit LED display. Display and modify reference frequency or phase, sine output amplitude, harmonic detect, offset percentage (X, Y or R), or Aux Outputs 1-4.
Data Buffer	16k points from both Channel 1 and Channel 2 display may be stored internally. The internal data sample rate ranges from 512 Hz down to 1 point every 16 seconds. Samples can also be externally triggered. The data buffer is accessible only over the computer interface.

INPUTS AND OUTPUTS

Channel 1 Output	Output proportional to Channel 1 display, or X. Output Voltage: ± 10 V full scale. 10 mA max output current.
Channel 2 Output	Output proportional to Channel 2 display, or Y. Output Voltage: ± 10 V full scale. 10 mA max output current.
X and Y Outputs	Rear panel outputs of cosine (X) and sine (Y) components. Output Voltage: ± 10 V full scale. 10 mA max output current.
Aux. Outputs	4 BNC Digital to Analog outputs. ± 10.5 V full scale, 1 mV resolution. 10 mA max output current.
Aux. Inputs	4 BNC Analog to Digital inputs. Differential inputs with 1 M Ω input impedance on both shield and center conductor. ± 10.5 V full scale, 1 mV resolution.
Trigger Input	TTL trigger input triggers stored data samples.
Monitor Output	Analog output of signal amplifiers (before the demodulator).

GENERAL

Interfaces	IEEE-488 and RS232 interfaces standard. All instrument functions can be controlled through the IEEE-488 and RS232 interfaces.
Preamp Power	Power connector for SR550 and SR552 preamplifiers.
Power	40 Watts, 100/120/220/240 VAC, 50/60 Hz.
Dimensions	17"W x 5.25"H x 19.5"D
Weight	30 lbs.
Warranty	One year parts and labor on materials and workmanship.

WHAT IS A LOCK-IN AMPLIFIER?

Lock-in amplifiers are used to detect and measure very small AC signals - all the way down to a few nanovolts! Accurate measurements may be made even when the small signal is obscured by noise sources many thousands of times larger.

Lock-in amplifiers use a technique known as phase-sensitive detection to single out the component of the signal at a specific reference frequency AND phase. Noise signals at frequencies other than the reference frequency are rejected and do not affect the measurement.

Why use a lock-in?

Let's consider an example. Suppose the signal is a 10 nV sine wave at 10 kHz. Clearly some amplification is required. A good low noise amplifier will have about 5 nV/√Hz of input noise. If the amplifier bandwidth is 100 kHz and the gain is 1000, then we can expect our output to be 10 μV of signal (10 nV x 1000) and 1.6 mV of broadband noise (5 nV/√Hz x √100 kHz x 1000). We won't have much luck measuring the output signal unless we single out the frequency of interest.

If we follow the amplifier with a band pass filter with a Q=100 (a VERY good filter) centered at 10 kHz, any signal in a 100 Hz bandwidth will be detected (10 kHz/Q). The noise in the filter pass band will be 50 μV (5 nV/√Hz x √100 Hz x 1000) and the signal will still be 10 μV. The output noise is much greater than the signal and an accurate measurement can not be made. Further gain will not help the signal to noise problem.

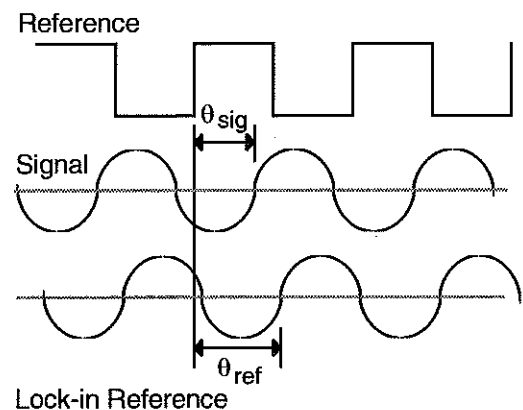
Now try following the amplifier with a phase-sensitive detector (PSD). The PSD can detect the signal at 10 kHz with a bandwidth as narrow as 0.01 Hz! In this case, the noise in the detection bandwidth will be only 0.5 μV (5 nV/√Hz x √0.01 Hz x 1000) while the signal is still 10 μV. The signal to noise ratio is now 20 and an accurate measurement of the signal is possible.

What is phase-sensitive detection?

Lock-in measurements require a frequency reference. Typically an experiment is excited at a fixed frequency (from an oscillator or function generator) and the lock-in detects the response from the

experiment at the reference frequency. In the diagram below, the reference signal is a square wave at frequency ω_r . This might be the sync output from a function generator. If the sine output from the function generator is used to excite the experiment, the response might be the signal waveform shown below. The signal is $V_{sig}\sin(\omega_r t + \theta_{sig})$ where V_{sig} is the signal amplitude.

The SR830 generates its own sine wave, shown as the lock-in reference below. The lock-in reference is $V_L\sin(\omega_L t + \theta_{ref})$.



The SR830 amplifies the signal and then multiplies it by the lock-in reference using a phase-sensitive detector or multiplier. The output of the PSD is simply the product of two sine waves.

$$\begin{aligned}
 V_{psd} &= V_{sig} V_L \sin(\omega_r t + \theta_{sig}) \sin(\omega_L t + \theta_{ref}) \\
 &= \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos((\omega_r - \omega_L)t + \theta_{sig} - \theta_{ref}) - \\
 &\quad \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos((\omega_r + \omega_L)t + \theta_{sig} + \theta_{ref})
 \end{aligned}$$

The PSD output is two AC signals, one at the difference frequency ($\omega_r - \omega_L$) and the other at the sum frequency ($\omega_r + \omega_L$).

If the PSD output is passed through a low pass filter, the AC signals are removed. What will be left? In the general case, nothing. However, if ω_r equals ω_L , the difference frequency component will be a DC signal. In this case, the filtered PSD output will be

$$V_{psd} = \frac{1}{2} V_{sig} V_L \cos(\theta_{sig} - \theta_{ref})$$

This is a very nice signal - it is a DC signal proportional to the signal amplitude.

Narrow band detection

Now suppose the input is made up of signal plus noise. The PSD and low pass filter only detect signals whose frequencies are very close to the lock-in reference frequency. Noise signals at frequencies far from the reference are attenuated at the PSD output by the low pass filter (neither $\omega_{\text{noise}} - \omega_{\text{ref}}$ nor $\omega_{\text{noise}} + \omega_{\text{ref}}$ are close to DC). Noise at frequencies very close to the reference frequency will result in very low frequency AC outputs from the PSD ($|\omega_{\text{noise}} - \omega_{\text{ref}}|$ is small). Their attenuation depends upon the low pass filter bandwidth and roll-off. A narrower bandwidth will remove noise sources very close to the reference frequency, a wider bandwidth allows these signals to pass. The low pass filter bandwidth determines the bandwidth of detection. Only the signal at the reference frequency will result in a true DC output and be unaffected by the low pass filter. This is the signal we want to measure.

Where does the lock-in reference come from?

We need to make the lock-in reference the same as the signal frequency, i.e. $\omega_r = \omega_L$. Not only do the frequencies have to be the same, the phase between the signals can not change with time, otherwise $\cos(\theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}})$ will change and V_{psd} will not be a DC signal. In other words, the lock-in reference needs to be phase-locked to the signal reference.

Lock-in amplifiers use a phase-locked-loop (PLL) to generate the reference signal. An external reference signal (in this case, the reference square wave) is provided to the lock-in. The PLL in the lock-in locks the internal reference oscillator to this external reference, resulting in a reference sine wave at ω_r with a fixed phase shift of θ_{ref} . Since the PLL actively tracks the external reference, changes in the external reference frequency do not affect the measurement.

All lock-in measurements require a reference signal.

In this case, the reference is provided by the excitation source (the function generator). This is called an external reference source. In many situations, the SR830's internal oscillator may be used instead. The internal oscillator is just like a function generator (with variable sine output and a TTL

sync) which is always phase-locked to the reference oscillator.

Magnitude and phase

Remember that the PSD output is proportional to $V_{\text{sig}} \cos \theta$ where $\theta = (\theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}})$. θ is the phase difference between the signal and the lock-in reference oscillator. By adjusting θ_{ref} we can make θ equal to zero, in which case we can measure V_{sig} ($\cos \theta = 1$). Conversely, if θ is 90° , there will be no output at all. A lock-in with a single PSD is called a single-phase lock-in and its output is $V_{\text{sig}} \cos \theta$.

This phase dependency can be eliminated by adding a second PSD. If the second PSD multiplies the signal with the reference oscillator shifted by 90° , i.e. $V_L \sin(\omega_L t + \theta_{\text{ref}} + 90^\circ)$, its low pass filtered output will be

$$V_{\text{psd2}} = 1/2 V_{\text{sig}} V_L \sin(\theta_{\text{sig}} - \theta_{\text{ref}})$$

$$V_{\text{psd2}} \sim V_{\text{sig}} \sin \theta$$

Now we have two outputs, one proportional to $\cos \theta$ and the other proportional to $\sin \theta$. If we call the first output X and the second Y,

$$X = V_{\text{sig}} \cos \theta \quad Y = V_{\text{sig}} \sin \theta$$

these two quantities represent the signal as a vector relative to the lock-in reference oscillator. X is called the 'in-phase' component and Y the 'quadrature' component. This is because when $\theta=0$, X measures the signal while Y is zero.

By computing the magnitude (R) of the signal vector, the phase dependency is removed.

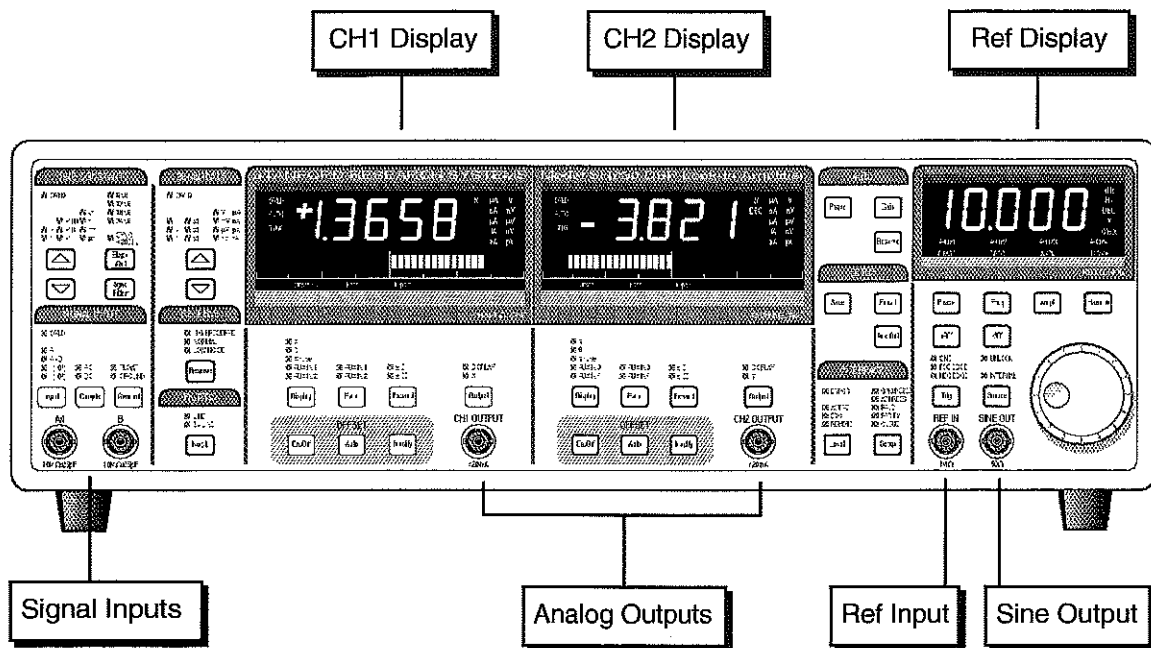
$$R = (X^2 + Y^2)^{1/2} = V_{\text{sig}}$$

R measures the signal amplitude and does not depend upon the phase between the signal and lock-in reference.

A dual-phase lock-in, such as the SR830, has two PSD's, with reference oscillators 90° apart, and can measure X, Y and R directly. In addition, the phase θ between the signal and lock-in reference, can be measured according to

$$\theta = \tan^{-1} (Y/X)$$

FRONT PANEL



Power

The power switch is on the rear panel. The SR830 is turned on by pushing the switch up. The serial number (5 digits) is shown in the CH1 and CH2 displays and the firmware version is shown in the Ref display at power on.

A series of internal tests are performed at this point.

- DATA** Performs a read/write test to the processor RAM.
- BATT** The nonvolatile backup memory is tested. Instrument settings are stored in nonvolatile memory and are retained when the power is turned off.
- PROG** Checks the processor ROM.
- DSP** Checks the digital signal processor (DSP).
- rCAL** If the backup memory check passes, then the instrument returns to the settings in effect when the power was last turned off (User). If there is a memory error, then the stored settings are lost and the standard (Std) settings are used.

Reset

To reset the unit, hold down the [Setup] key while the power is turned on. The unit will use the standard settings. The standard setup is listed on the next page.

[Keys]

The keys are grouped and labelled according to function. This manual will refer to a key with brackets such as [Key]. A complete description of the keys follows in this section.

Knob

The knob is used to adjust parameters in the Reference display. The parameters which may be adjusted are internal reference frequency, reference phase shift, sine output amplitude, harmonic detect number, offsets, Aux Output levels, and various Setup parameters.

Local Lockout

If the computer interface has placed the unit in the REMOTE state, indicated by the REMOTE led, then the keys and the knob are disabled. Attempts to change the settings from the front panel will display the message 'LOCL LOut' indicating local control is locked out by the interface.

Reference Input

The reference input can be a sine wave (rising zero crossing detected) or a TTL pulse or square wave (rising or falling edge). The input impedance is 1 M Ω AC coupled (>1 Hz) for the sine input. For low frequencies (<1 Hz), it is necessary to use a TTL reference signal. The TTL input provides the best overall performance and should be used whenever possible.

Sine Out

The internal oscillator output has a 50 Ω output impedance and varies in amplitude from 4 mVrms to 5 Vrms. The output level is specified into a high impedance load. If the output is terminated in a low impedance, such as 50 Ω , the amplitude will be less than the programmed amplitude (half for a 50 Ω load).

This output is active even when an external reference is used. In this case, the sine wave is phase locked to the reference and its amplitude is programmable.

A TTL sync output is provided on the rear panel. This output is useful for triggering scopes and other equipment at the reference frequency. The TTL sync output is a square wave derived from the zero crossings of the sine output.

CH1 & CH2 Outputs

The Channel 1 and Channel 2 outputs can be configured to output a voltage from -10 V to +10 V proportional to X or Y or the CH1 and CH2 Displays. ± 10 V is full scale. The outputs can source 10 mA maximum.

Signal Inputs

The input mode may be single-ended, A, or differential, A-B. The A and B inputs are voltage inputs with 10 M Ω , 25 pF input impedance. Their connector shields are isolated from the chassis by 10 Ω (Ground) or 1 k Ω (Float). Do not apply more than 50 V to either input. The shields should never exceed 1 V. The I (current) input is 1 k Ω to a virtual ground.

Key Click On/Off

Press the [Phase] and [Harm#] keys together to toggle the key click on and off.

Front Panel Display Test

To test the front panel displays, press the [Phase] and [Freq] keys together. All of the LED's will turn on. Press [Phase] to decrease the number of on LED's to half on, a single LED and no LED's on. Use the knob to move the turned on LED's across the panel. Press [Freq] to increase the number of on LED's. Make sure that every LED can be turned on. Press any other key to exit this test mode.

Display Off Operation

To operate with the front panel displays off, press [Phase] and [Freq] together to enter the front panel test mode. Press [Phase] to decrease

the number of on LED's until all of the LED's are off. The SR830 is still operating, the output voltages are updated and the unit responds to interface commands. To change a setting, press any key other than [Phase] or [Freq] to return to normal operation, change the desired parameter, then press [Phase] and [Freq] together to return to the test mode. Turn the LED's all off with the [Phase] key.

Keypad Test

To test the keypad, press the [Phase] and [Ampl] keys together. The CH1 and CH2 displays will read 'PAd code' and a number of LED indicators will be turned on. The LED's indicate which keys have not been pressed yet. Press all of the keys on the front panel, one at a time. As each key is pressed, the key code is displayed in the Reference display, and the nearest indicator LED turns off. When all of the keys have been pressed, the display will return to normal. To return to normal operation without pressing all of the keys, simply turn the knob.

STANDARD SETTINGS

If the [Setup] key is held down when the power is turned on, the lock-in settings will be set to the defaults shown below rather than the settings that were in effect when the power was last turned off. The default settings may also be recalled using the *RST command over the computer interface. In this case, the communications parameters and status registers are not changed.

REFERENCE / PHASE

Phase	0.000°
Reference Source	Internal
Harmonic #	1
Sine Amplitude	1.000 Vrms
Internal Frequency	1.000 kHz
Ext Reference Trigger	Sine

INPUT / FILTERS

Source	A
Grounding	Float
Coupling	AC
Line Notches	Out

GAIN / TC

Sensitivity	1 V
Reserve	Low Noise
Time Constant	100 ms
Filter dB/oct.	12 dB
Synchronous	Off

DISPLAY

CH1	X
CH2	Y
Ratio	None
Reference	Frequency

OUTPUT / OFFSET

CH1 Output	X
CH2 Output	Y
All Offsets	0.00%
All Expands	1

AUX OUTPUTS

All Output Voltages	0.000 V
---------------------	---------

SETUP

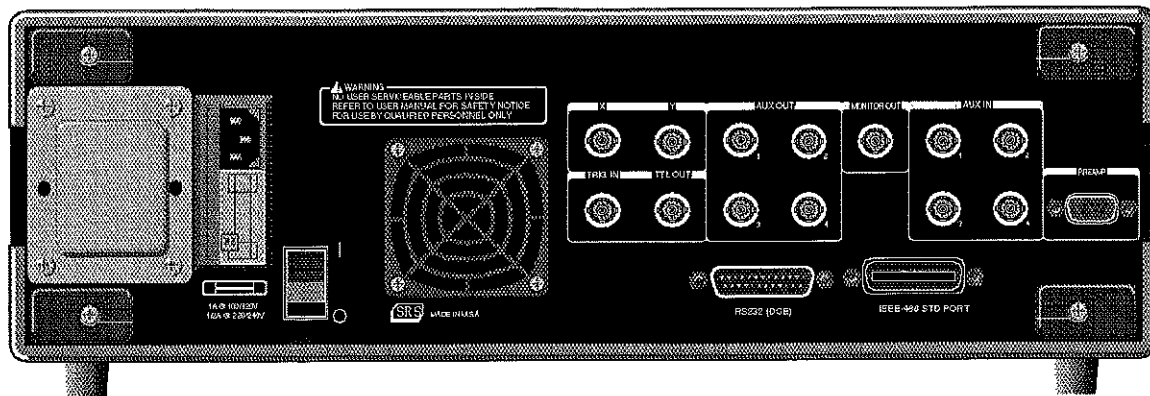
Output To	GPIB
GPIB Address	8
RS232 Baud Rate	9600
Parity	None
Key Click	On
Alarms	On
Override Remote	On

DATA STORAGE

Sample Rate	1 Hz
Scan Mode	Loop
Trigger Starts	No

STATUS ENABLE REGISTERS

Cleared



Power Entry Module

The power entry module is used to fuse the AC line voltage input, select the line voltage, and block high frequency noise from entering or exiting the instrument. Refer to the first page of this manual for instructions on selecting the correct line voltage and fuse.

IEEE-488 Connector

The 24 pin IEEE-488 connector allows a computer to control the SR830 via the IEEE-488 (GPIB) instrument bus. The address of the instrument is set with the [Setup] key.

RS232 Connector

The RS232 interface connector is configured as a DCE (transmit on pin 3, receive on pin 2). The baud rate and parity are programmed with the [Setup] key. To connect the SR830 to a PC serial adapter, which is usually a DTE, use a straight thru serial cable.

AUX IN 1-4 (A/D Inputs)

These are auxiliary analog inputs which can be digitized by the SR830. The range is -10.5V to +10.5V and the resolution is 16 bits (1/3 mV). The input impedance is 1 M Ω .

These inputs may be displayed on the CH1 and CH2 displays. These inputs allow signals other than the lock-in outputs to be acquired (and stored). Furthermore, ratio quantities such as X/Aux1 may be displayed (and stored).

AUX OUT 1-4 (D/A Outputs)

These are auxiliary analog outputs. The range is -10.5V to +10.5V and the resolution is 1 mV. The output impedance is <1 Ω and the output current is limited to 10 mA.

These outputs may be programmed from the front panel ([Aux Out]) or via the computer interfaces.

X and Y

The X and Y lock-in outputs are always available at these connectors. The bandwidth of these outputs is 100 kHz. A full scale input signal will generate $\pm 10V$ at these outputs. The output impedance is <1 Ω and the output current is limited to 10 mA.

These outputs are affected by the X and Y offsets and expands. The actual outputs are

$$X \text{ Output} = (X/\text{sensitivity} - \text{offset}) \times \text{Expand} \times 10V$$

$$Y \text{ Output} = (Y/\text{sensitivity} - \text{offset}) \times \text{Expand} \times 10V$$

where the offset is a percentage of full scale and the expand is an integer from 1, 10 or 100. The offsets and expand are set from the front panel.

MONITOR OUT

This BNC provides a buffered output from the signal amplifiers and prefilters. This is the signal just before the A/D converter and PSD. The output impedance is $<1\Omega$ and the output current is limited to 10 mA.

The gain from the signal input to the monitor output is the overall gain minus the dynamic reserve minus 3dB. The overall gain is 10V divided by the sensitivity. The actual dynamic reserve is specified in the description of the [Reserve] key. For example, if the sensitivity is 10 mV, the gain is 60dB. If the dynamic reserve is 20dB, then the gain from the input to the monitor output is $60-20-3=37\text{dB}$ or a gain of 71. A 10 mV (rms) input will result in a .7 Vrms or 1 Vpk output. The gain is only accurate to about 1.5dB or 20%.

This output is useful for determining the cause of input overloads and the effects of prefiltering. However, because the analog gain never exceeds 2000, very small signals may not be amplified enough to viewed at the monitor output.

TRIG IN

This TTL input may be used to trigger stored data samples and/or to start data acquisition. If Trigger Start is selected, then a rising edge will start data storage. If the sample rate is also Trigger, then samples are recorded at every subsequent trigger. (The first trigger starts the scan and takes the first data point, subsequent triggers record the rest of the data points.) When the sample rate is set to Trigger, samples are recorded whenever there is a rising edge at the Trigger input. The maximum sample rate is 512 Hz. Data storage is available through the computer interface only.

TTL OUT

This output is the TTL sync output for the internal oscillator. The output is a square wave whose edges are linked to the sine wave zero crossings. This is useful when the sine output amplitude is small and a synchronous trigger is required (to a scope for example). This output is active even when locked to an external reference.

PREAMP CONNECTOR

This 9 pin "D" connector provides power and control signals to external preamplifiers such as the SR550 and SR552. The power connections are described below.

Pin	Voltage
1	+20V
2	+5V
6	-20V
7	Signal Ground
8	Ground

Using SRS Preamps

When using either the SR550 or SR552, connect the power cable (standard 9 pin D connectors) from the preamp to the rear panel preamp connector on the SR830. Use BNC cables to connect the A output from the preamp to the A input of the SR830. The B output from the preamp (preamp ground) may be connected to the B input of the SR830. In this case, use A-B as the input configuration. Be sure to twist the A and B cables so that there is no differential noise pickup between the cables.

The SR550 and SR552 are AC coupled from 1 Hz to 100 kHz. Set the SR830 to AC coupled since the signal must be above 1 Hz. The SR550 has an input impedance of 100 M Ω , the SR552 has 100 k Ω .

The SR830 does NOT compensate for the gain of the preamp. The SR830 sets both preamps to their maximum gains. Measurements made by the SR830 with a preamp need to be divided by the gain of the preamp. The SR550 has a gain of 10 and the SR552 has a gain of 100.

Capítulo 7

Anexo IV (Presupuestos y facturas)

UNIVERSIDAD PUBLICA DE NAVARRA
CAMPUS DE TUDELA
DPTO. FISICA
CTRA.DE TARAZONA S/N

ES-31500 TUDELA

Ricardo Ortega Hertogs
Tel.: 948417844

FESTO

Referencia: PRECIO Y PLAZO / 13700283

Propuesta
2130045454

Muy Sres. Nuestros,

Les enviamos nuestra propuesta técnica y económica elaborada para cumplir con su solicitud.

Si existe algún dato que no esté claro o que difiera de lo esperado no dude en contactar de nuevo con nosotros.

Les recomendamos que revisen siempre nuestros Términos y Condiciones generales de ventas, disponibles en la página web:
<http://www.festo.es/condiciones>

Fecha
01. Octubre 2012

Número páginas
1 de 3

Persona de contacto
Dpto. Atención al Cliente
Tel.: 901 24 366 0
Fax: 902 24 366 0
sales_es@festo.com

Importe material con portes e IVA incluidos 180,45...eur.

Destinatario de la mercancía
UNIVERSIDAD PUBLICA DE NAVARRA
CAMPUS DE TUDELA
DPTO. FISICA
CTRA.DE TARAZONA S/N
ES-31500 TUDELA

Registro Mercantil de Barcelona
Hoja 20866, Folio 96,
Tomo 2109, Libro 1509,
Sección 2a, Inscripción 1a
Sociedad Unipersonal

NIF A08270084
VAT No ESA08270084

Denominación	Nr. Artículo	Precio por unidad	Cantidad	Precio final
		EUR		EUR
Posición 0010 DSN-8-50-P CILINDRO DOBLE EFECT Fecha de entrega: 2 Día(s)	5036	32,90	1	32,90
Posición 0020 Electroválvula VUVG-L10-M52-RT-M5-U-4H2L Fecha de entrega: 2 Semanas	564212	63,43	1	63,43

Festo Pneumatic, S.A.

Avda. de la Granvía, 159
Teléfono: 901 24 366 0
Telefax: 902 24 366 0
08908 Hospitalet (Barcelona)

UNIVERSIDAD PUBLICA DE NAVARRA
CAMPUS DE TUDELA
DPTO. FISICA
CTRA.DE TARAZONA S/N

ES-31500 TUDELA

Ricardo Ortega Hertogs
Tel.: 948417844

FESTO

Denominación	Nr. Artículo	Precio por unidad	Cantidad	Precio final
		EUR		EUR
Válvula de vías para aplicaciones estándar	VUVG			
Válvula en-línea	L			
Tamaño 10	10			
Válvula de 5/2 vías, monoestable	M52			
Mixto, muelle neumático/mecánico	R			
Con pulsador, enclavado	T			
M5	M5			
Silenciador	U			
5 V DC	4			
Patrón de conexiones H, conector tipo clavija horizontal	H2			
LED	L			
Posición 0030 NEBV-H1G2-P-2.5-N-LE2 Conector tipo zócalo con cable Fecha de entrega: 2 Día(s)	566660	9,46	2	18,92
Posición 0040 UC-M5 Silenciador Fecha de entrega: 2 Día(s)	165003	4,47	4	17,88
Total Neto			EUR	133,13
Gastos de transporte				16,00

Propuesta
2130045454

Fecha
01. Octubre 2012

Número páginas
2 de 3

Persona de contacto
Dpto. Atención al Cliente
Tel.: 901 24 366 0
Fax: 902 24 366 0
sales_es@festo.com

Registro Mercantil de Barcelona
Hoja 20866, Folio 96,
Tomo 2109, Libro 1509,
Sección 2a, Inscripción 1a
Sociedad Unipersonal

NIF A08270084
VAT No ESA08270084

Festo Pneumatic, S.A.

Avda. de la Granvía, 159
Teléfono: 901 24 366 0
Telefax: 902 24 366 0
08908 Hospitalet (Barcelona)

UNIVERSIDAD PUBLICA DE NAVARRA
CAMPUS DE TUDELA
DPTO. FISICA
CTRA.DE TARAONA S/N

ES-31500 TUDELA

Ricardo Ortega Hertogs
Tel.: 948417844

FESTO

La presente Oferta se sujeta a los Términos y Condiciones de venta de Festo Pneumatic, S.A.U. vigentes en la fecha de emisión de este documento, disponibles en www.festo.es/condiciones y que, salvo modificaciones posteriores, fueron entregados inicialmente al Cliente con la apertura de cuenta. En caso de discrepancia entre la presente Oferta y los Términos y Condiciones de Venta con las Condiciones del Cliente, prevalecerán los dos primeros documentos, salvo que exista un acuerdo escrito y firmado por ambas partes.

Forma y Condiciones de pago: Transferencia / Pago Anticipado
Portes no incluidos: DDU Portes Contado
Impuestos no incluidos.
Plazos de entrega actuales, sujetos a confirmación a la recepción del pedido.
Validez de la propuesta: 30 días
No se aceptan devoluciones de productos configurables o especiales.

P. Fraile

Si desea confirmarnos en esta misma hoja su pedido, le daremos curso de inmediato.

Indíquenos, por favor, su Referencia o No. de Pedido: _____

REACH: Cumplimos nuestro deber de proporcionar información conforme al reglamento 1907/2006 CE REACH relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos en www.festo.com/productcompliance -----> Más información sobre la conformidad de producto -----> REACH.

Le recomendamos el uso de nuestra Online Shop. Es la forma más eficiente y fiable de conseguir toda la información referida a Productos, precios, plazos de entrega y seguimiento de sus pedidos. Disponible las 24 horas, 7 días a la semana.
Ahora también puede consultar sus ofertas, convertirlas en pedidos o hacer su seguimiento posterior.

Festo podrá aplicar, en concepto de gastos de gestión y administración, un sobrecargo en todos los pedidos cuyo importe total neto no supere 25 EUR.

Las Condiciones Generales o Específicas de esta Oferta solo son efectivas si el cliente se encuentra al día en sus pagos y, en caso de pago aplazado, el crédito es autorizado al tramitar el pedido.

Propuesta 2130045454

Fecha
01. Octubre 2012

Número páginas
3 de 3

Persona de contacto
Dpto. Atención al Cliente
Tel.: 901 24 366 0
Fax: 902 24 366 0
sales_es@festo.com

Registro Mercantil de Barcelona
Hoja 20866, Folio 96,
Tomo 2109, Libro 1509,
Sección 2a, Inscripción 1a
Sociedad Unipersonal

NIF A08270084
VAT No ESA08270084

Festo Pneumatic, S.A.

Avda. de la Granvía, 159
Teléfono: 901 24 366 0
Telefax: 902 24 366 0
08908 Hospitalet (Barcelona)

Universidad Pública de Navarra
Departamento de Física
Campus de Tudela
Ctra. de Tarazona, s/n
31500 Tudela

T- 948 417844

Nuestras referencias
Código contable: 3030002909
CIF: ESQ3150012G

Tudela, 2 de Octubre de 2012

FESTO Pneumatic S.A.
Avda. de la Granvía, 159
08908 Hospitalet (Barcelona)
Attn. Depto. Atención Cliente:

T - 901 24 366 0

Estimados Sres.:

Considere la presente pedido formal, según su oferta **2130045454** de fecha 1 de octubre de 2012, de:

Cantidad	Ref.	Descripción	Precio/ud.
1	5036	DSN-8-50-P CILINDRO DOBLE EFECT	32,90
1	564212	Electrov. VUVG-L10-M52-RT-M5-U-4H2L	63,43
2	566660	NEBV-H1G2-P-2.5-N-LE2 Conector tipo zócalo con cable	9,46
4	165003	UC-M5 Silenciador	4,47
1		gastos de envío	16,00
		<i>Total (iva incluido)</i>	180,45

Para cualquier consulta, no dude en ponerse en contacto conmigo. Le saluda muy atentamente,

Dr. Ricardo J. Ortega-Hertogs
Departamento de Física
Universidad Pública de Navarra
948 417844 (Tudela)
rjortega@unavarra.es

Universidad Pública de Navarra
Departamento de Física
Campus de Tudela
Ctra. de Tarazona, s/n
31500 Tudela

T- 948 417844

Nuestras referencias
Código contable: 3030002909
CIF: ESQ3150012G

Tudela, 26 de Septiembre de 2012

Electricidad Neumática J.P.
Polígono las Labradas
31500 Tudela
Attn. Sr.:

T - 948 

Estimado Sr.:

Considere la presente pedido formal, según su oferta 120185 de fecha 24 de septiembre de 2012, de:

Cantidad	Ref.	Descripción	Precio/ud.
1	053260	REGULADORES MW 1/4 NEW-deal	36,59
1	240370	MANOMETRO POST. D43 1/8 0-10	3,60
1	052430	RACORES MW R6 1/4-4	0,95
1	042400	TE AUTOMATICA TUBO 4-4-4	1,66
1	033210	MACHO MACHO CILIN.1/4-1/2	1,71
		Total	44,51+iva

Para cualquier consulta, no dude en ponerse en contacto conmigo. Le saluda muy atentamente,



Dr. Ricardo J. Ortega-Hertogs
Departamento de Física
Universidad Pública de Navarra
948 417844 (Tudela)
rjortega@unavarra.es